مبادىء الفيزياء النوويه

تأليف

خلف علي جليل الموسوي

B. Sc.

بكالوريوس علوم فيزياء

مراجعـــة

قاسم رمضان عبد الله

M. Sc.

ماجستير علوم فيزياء

سعر الكتاب ٥٥٠ فلس

وافقت وزارة الاعلام على نشره بتاريخ

٥/١٢/١٩٧٢ وتحت رقم ١٤٨

مبادئ الفيزياء النووية

تأليف
علي جليل الموسوي
B. Sc.
بكالوريوس علوم فيزياء

مراجعة
قاسم رمضان عبد الله
M. Sc.
ماجستير علوم فيزياء

المقدمــــــــــــة

بسم الله الرحمن الرحيــــم

الحمد لله المتفرد بالازلية والدوام ، المتوحّد بالجلال والاكرام المتقدس عن مشابهة الاعراض والاجسام ، والصلاة والسلام على اشرف الخلق محمد وآله الطيبين الطاهريــن .

وبعد : فقد كان اكتشاف الذرة ومايزال من أكبر منجزات القرن العشرين لما لها من أهمية كبيــرة وخطيرة في حياتنا السلمية والحربية ، فقد أكتشفت الذرة من قبل العلماء (ج . ج . طومســـــن - رذرفورد - شادويك - بور - آينشتاين وغيرهم) وبذلك مهدوا للعلماء الاخرين بأستخدام الذرة في مجالات الحياة المختلفة سواء أكانت في أمور تخدم البشرية كالزراعة والصناعة والطب والاثار وتوليد الطاقة الكهربائيـــة ، أو كانت في مجالات أضرت البشرية وأساءت اليها كصنع القنابل الذرية وتفجيرها ، كما حدث في هيروشيـــما وناغازاكي في اليابان في الحرب العالمية الثانية فقد أدت الى مسح هاتين المدينتين من الوجود وتلـــوث الفضـاء بالغبار الذرى .

وعلى الرغم من مرور أكثر من نصف قرن على اكتشاف الذرة وكثرة ماكتب حولها في اللغات الاجنبية فلا زالت المكتبة العربية فقيرة ضمن هذه الناحية ، وانطلاقا" من هذه الحاجة فقد وضعت كتابا "علميا" يتناول دراسة النواة مرتب في خمسة فصول وأدخلت بعض الرياضيات غير المعقدة عليه ليكون بمستوى طلاب العلـــوم المبتدئيـــــن .

وفي الختام أشكر جهود الاستاذين قاسم رمضان عبدالله معيد في قسم الفيزياء في جامعة البصـــرة لمراجعة فصول الكتاب وتفضله بقول كلمة فيه وعقيل ابراهيم الفيضي مدرس اللغة العربية في متوسطة النعمان لمراجعته الكتاب من حيث اللغة والنحو .

والله الموفق وهو حسبنا ونعم الوكيـــل

خلف علي جليل الموســـوي
بصـــره - قضـاء شط العــــرب
تشرين الثاني - ١٩٧٢م

تقريـــــــــظ

كلمة حول الكتاب • بقلم الاســـتاذ قاسم رمضان عبداللـــه

بسم الله الرحمن الرحيم

أن ما يدعو الى الاعتزاز أن يتطلع شبابنا الناشيء الى ميدان العلوم فيفيدوا منها ثم يحاولوا أن يسهموا في بناء صرح امتهم العلمي ، وهذا لعمرى خير ما ترجوه الامة من أبنائها المخلصين ٠

ونحن أمة ماتزال فقيرة في ميدان العلوم الصرفة وعلوم التقنية ، وهذا يتطلب منا أن نشجع ونستغل أيسر المحاولات في هذا الشأن ونوجهها الوجهة الصحيحة فلعل من هذه المحاولات ما سيثبت اصالته بعد حين ذلك أن التراث العلمي الاصيل ليس وليد برقة وأنما هو من خبرة ومران ٠

والكتاب الذى بين ايدينا هو محاولة أولى في هذا الصدد بل انها وحيدة من نوعها حتى الان في بلدنا دون مغالاة ، وهو وان كان لا يصل الى مستوى الكتاب الاجنبي الا أن طالب العلم المبتدىء والمثقف العادى قد يجد به بعض المتعة العلمية ، اذ انه يتبسط كثيراً في ايضاح المبادىء الاولية لفيزياء النواة ، فهو بذلك يسد ثغرة في مكتبتنا نتمنى لمؤلفه التوفيق المضطرد في خدمة بلده وأمته والله ولي التوفيـــــق ٠

قاسم رمضان عبدالله

بصـــــــره

تشرين الثانـــــي ـ ١٩٧٢م

(١ـ١) مقدمة تاريخية :

ينقسم العالم الطبيعي الى عالمين كبيرين هما ، عالم الاجسام الكبيرة التي يمكن أن نراها ونلمسها ، وفرع الفيزياء الذى يقوم بدراسة هذه الاجسام يسمى بالماكروفيزياء (وهو أصطلاح مشتق من اللفظة اليونانية ((ماكرو)) بمعنى كبير) . وعالم الاجسام الصغيرة التي لا يمكن أن نراها أو نلمسها ، وفرع الفيزياء الذى يقوم بدراستها يسمى بالميكروفيزياء (وهو اصطلاح مشتق من اللفظة اليونانية "ميكرو" بمعنى صغير أو دقيق) . ومن أحد فروع علم الميكروفيزياء الفيزياء النووية التي بدأت في سنة ١٨٩٦ عندما اكتشف هنرى بيكرل النشاط الاشعاعي الطبيعي فكانت الشاهد الاول على وجود عمليات نووية داخلية . ثم تبع ذلك عدة بحوث ودراسات وتجارب في مجال الفيزياء النووية بعضها مبين في جدول (١ـ١) .

جدول (١ـ١)

الاكتشافات في مجال الفيزياء النووية

التاريخ	الاكتشاف	اسم المكتشف
١٨٩٦	النشاط الاشعاعي	هنرى بيكرل
١٨٩٨	اكتشاف عنصر الراديوم	ماري كوري
١٩٠٥	قانون تكافوء الكتلة مع الطاقة	آينشتاين
١٩٠٩	جسيمات الفا عبارة عن نوى الهليوم	رويدس
١٩١١	فرضية النواة الذرية	رذرفورد
١٩١٢	استعمال الخميرة السحابية في روءية المسالك النووية	ويلسن
١٩١٣	الاشعة الكونية	هيس
١٩٢٤	فرضية الطبيعة الموجبة للمادة	دى . بروكلي
١٩٢٦	اكتشاف الميكانيك الكمي	شرودنيجر
١٩٣٢	أكتشاف النيوترون	شادويك
١٩٣٢	أكتشاف البوزيترون	أندرسن

ولا زال علم الفيزياء النووية في المرحلة الابتدائية ، وأكثر ما يهم العلم اليوم القوى النووية التي مازالت غير مفهومة جيداً" .

الفصـــــل الاول

النـــــــــــــــــــــــواة

(١ـ٢) الافكـــار الاولى في التركيـــب الذري :

أقترح براوت في سنة ١٨١٥م فرضية تنص على أن جميع ذرات العناصر مركبـــة من ذرة أو أكثر من ذرات الهيدروجين ولكن هذا الاقتراح واجه فشلاً كبيراً وذلك بسبب أن الوزن الذرى لبعض العناصر تختلف قيمته العددية من المضاعفات الصحيحة للوزن الذرى للهيدروجين ، وان اكتشـاف الالكترون من قبل ج ٠ ج ٠ طومسـن في سنة ١٨٩٧ بعث الاهتمام نحو التركيب الداخلي للذرة وذلـك باشارته الى أن الذرات يجب أن تحتوى على شحنات موجبة والكترونات سالبة ٠٠ ونتيجة لذلك نشأ سؤالان هما :

١ـ كم عدد الالكترونات الموجودة في الذرة ؟
٢ـ كيف ترتيب الالكترونات والشحنات الموجبة ؟

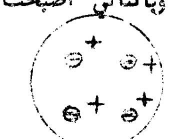
وقد حصل الجواب على السؤال الاول من تشتت الاشعة السينية التي تشير الى ان عدد الالكترونات فـــي الذرة للعناصر الخفيفة مساوياً حوالي نصف الوزن الذرى ، ما عدا ذرة الهيدروجين التي تحتوى على الكترون واحد ٠ أما في ما يخص ترتيب الالكترونات في الذرة فأنه يجب أن يتضمن شرطين على أساس الافكـــار القديمة (الكلاسيكية) : ـ

الشـرط الاول : مجموعة الشحنات الموجبة والالكترونات في الذرة يجب أن تكون مستقرة ، فالالكترونات مثلاً يجب أن تمسكها قوة من نوع ما في مواقع توازن ثابتة يمكن أن تتذبذب حولها عند اثارتهـا بترددات محدودة هي اللازمة بشرح الاطياف الخطية المميزة ٠

الشـرط الثاني : عدا أنه عند اثارتها يجب أن تكون الالكترونات مستقرة حيث أنه أن كان العكس وجب أن تبعث بأشعاع يتفق ومتطلبات النظرية الكهرومغناطيسية ٠ وقد فرض أن الكتلة الاكبر للذرة تعود لكل للشحنات الموجبة والتي من أجل ذلك تتذبذب تذبذباً قليلاً جداً وبذلك لا تبعث الشحنات الموجبة أشـــعاعاً ٠

وطبقاً للأسس الكلاسيكية التي تواجه ترتيب الالكترونات والشحنات الموجبة التي ذكرت آنفاً وعـدم توفر المعلومات التجريبية بخصوص ترتيبها أقترح طومســن في سنة ١٩٠٨ نموذجاً بسيطاً للذرة وهو كما يلـــي :

الشحنة الكهربائية الموجبة متوزعة بلا انفصال خلال منطقة محدودة صغيرة بكثافة منتظمة على هيئة كرة والالكترونات تكون مدفونة في الشحنة الكهربائية الموجبة كما في الشكل (١ـ١) وشاغلة مواقع محددة للتوازن ومسموحاً لها أن تهتز حول هذه المواقع عندما تضطرب ٠ ولكن نظرية طومســن لم تقدر على تفسير مجموعات خطوط الطيف الخطي وبأنه ينتهي الى نهاية عظمى ٠ وبالتالي أصبحت نظريته مناقضة لتجربـــة رذرفـورد (Rutherford)



شكل (١ـ١) نموذج طومسن الذري

(١ـ٣)   تجربة رذرفورد و اكتشاف النواة الذرية :

شاهد رذرفورد وآخرون غيره بأنه عندما يسمح لحزمة من جسيمات الفا أن تضرب لوحا" فوتوغرافيا Phetographic plate بعد أن تمر خلال لوحة رقيقة جدا" من المعدن فأن الحزمة تنتشر (diffuse) بدلا" من أن تكون حادة sharp وهذا يشير الى أن بعض جسيمات الفا تعاني أنعكاسا" وتشتتا" خلال عبورها للمادة . فأن تشتت جسيمات الفا يمكن أن يوضح بواسطة القوى الكهربائية الاستاتيكية بين جسيمات الفا والشحنات التي تركب الذرة ، وأن كمية القوى الكهربائية هذه واتجاهها يعتمد على كيفية حدوث اقتراب الجسيم من الذرة .

وفي حالة افتراض نموذج ذرى خاص فأن تشتت جسيمات الفا يمكن حسابه كميا" من هذا النموذج وبالتالي تقارن مع نتائج التجربة فأن طابقها كان صحيحا" والا فالعكس هو الصحيح . وفي حالة نموذج ج ج . طومسن الذرى فقد حسب منه نظريا" معدل انحراف جسيمة الفا الذى يسبب بواسطة ذرة واحدة . فكان صغيرا" جدا" ، وعليه لا يمكن تفسير تشتت جسيمة ألفا بفعل ذرة واحدة فقط . ولهذا يكون تشتت جسيمة الفا بواسطة صفيحة معدنية رقيقة طبقا" لنموذج طومسن الذرى نتيجة لعدد كبير جدا" من الانحرافات الصغيرة التي تسبب بواسطة فعل عدد كبير جدا" من الذرات ، هذه العملية تدعى بالتشتت المركب أو المتعدد Compound or multiple scattering وقد وجد تجريبيا" أن جسيمة واحدة من كل ثمانية آلاف جسيمة الفا تتشتت بزاوية أكبر من تسعين درجة ، أى انها كانت تخرج على نفس الجانب الذى تسقط الاشعة عليه . أن صوت تشتت لجسيمات الفا عند زاوية أكبر من ٩٠° تجريبيا" لا يمكن توفيقه مع ما توقعته نظرية طومسن على أساس التشتت المتعدد . ولهذا نحتاج الى البحث عن نموذج ذرى يوافق التجربة .

وفي سنة ١٩١١ م وضع رذرفور نموذج يوافق النتائج التجريبية . وينص على مايلي : فرض رذرفورد وجود مجال كهربائي شديد داخل الذرة وفرض أن جسيمة الفا الواحدة تنحرف عن اتجاهها بتأثير ذرة واحدة ولتعليل مثل هذا المجال الشديد فرض رذرفورد أن جميع الشحنات الموجبة التي تحملها الذرة مركزة في نواة غاية في الصغر وأن الالكترونات تحتل الحيز الموجود خارج النواة . وأفترض رذرفورد عندما وضع نظريته في تشتت جسيمات الفا بسبب النويات الذرية أن كلا" منهما يسلكان سلوك النقطة المشحونة ، وأن قانون كولوم (١) صحيح في مثل هذه المسافات الصغيرة وأن ميكانيك نيوتن (٢) يمكن استعماله في مثل هذه المسألة ، والشكل (١ـ٢) مقارنة بين الانحراف الذى يحدث لجسيمة الفا بالنسبة لنموذج طومسن الذرى ونموذج رذرفورد .



أ ـ نموذج طومسن الذرى

ب ـ نموذج رذرفورد الذرى

شكل (١ـ٢) مقارنة بين انحراف جسيمة ألفا الذى يحدث بواسطة (أ) نموذج طومسن (ب) بموذج رذفورد

(١ـ٤) مكونـــــات النـــــواة :

بعد عدة سنوات من بدء اكتشاف النواة كان الاعتقاد السائد آنذاك أن النواة تتكون من الكترونات وبروتونات ، مثال ذلك ذرة النيتروجين ذات العدد الــــذرى (٧) والعدد الكتلي (١٤) فأن نواتها تحتوى على (١٤) بروتون و(٧) الكترونات وان صــافي الشحنة على النواة (+٧) التي بدورها تتعادل بواسطة (٧) الكترونات خارجية . ان هــذا النموذج قد فشل وذلك لعدة أسباب منها فشله في حساب الزخم الزاوى الكمي النووى وكذلك فشله في حساب العزم المغناطيسي الكمي . وبسبب ذلك أقترح رذرفورد في سنة ١٩٢٠م بأن الالكترون والبروتون من المحتمل جدا" أن يتحدا ويكونا جسيما" متعادلا "كهربائيا" سمي بالنيوترون . وبسبب صعوبة التحسس الى هذا الجسيم فقد تأخر اكتشافه الى سنة ١٩٣٢ ، وعند اكتشاف النيوترون فــــي سنة ١٩٣٢ من قبل شادويك فقد قيست كتلته وكانت لا تساوى مجموع كتلة البروتون والالكترون ، ومــــن هذا نستنتج أن فرضية رذرفورد بخصوص تركيب النيوترون خطأ . وبهذا الاكتشاف حصلنا على قاعـــدة لبناء نموذج نووى أكثر قناعة من سابقه . وهذا النموذج الجديد ينص على أن النواة تتركب فقط مــن بروتونات ونيوترونات . وطبقا" لهذا النموذج فأن نواة النيتروجين تحتوى على (٧) بروتونــــــات و (٧) نيوترونات ، وبما أن النيوترون ليس له شحنة وان كتلته قريبة جدا" من كتلة البروتـــــون اذن صافي النووية (+ ٧) ومجموع كتلتها (١٤) .

ونستخلص من ذلك الى أن العدد الكتلي (A) يساوى العدد الذرى (Z) زائدا" عدد النيوترونات (N)

$$A = Z + N$$

(١ـ٥) الخواص النوويــــــــة :

١ـ الكتلة الذرية : اكتشفت ثلاثة مقاييــــس للكتل الذرية :

١ـ المقياس المطلق ، ويعبر عنه الغرام

٢ـ المقياس الكيمياوى ، ويعرف بأخذ متوسط الكتل الذرية لنظائر الاوكسجين الموجـودة بالطبيعة والتي تساوى ١٦ وحدة كتلة . $_{8}O^{16}$

٣ـ المقياس الفيزيائي : ويعرف بوضع كتلة ذرة نظير الاوكسجين (١٦) تساوى ١٦٫٠٠٠ وحدة كتلة ذرية (atomic mass unit) التي يرمز لهـــا بـ (amu)

وبموجب هذا التعريف تكون وحدة الكتلة الذرية هي جزء من ستة عشر جزءا" من كتلة ذرة نظير الاوكسجين (١٦) ، ثم اننا نعلم ان عدد أفوكادرو يمثل عدد الذرات في الغرام الذى والذى يساوى ٦٫٠٢٥ × ١٠^٢٣ ذرة . مثلا" بالنسبة الى نظير الاوكسجين ١٦ فأن ١٦ غم منه تحتوى على

عدد أفوكادرو من الذرات ولذلك تكون كتلة ذرة نظير الاوكسجين (١٦) تساوى :

$$\frac{16}{No} \ gm$$

ولذلك فأن

$$1 \ amu = \frac{\frac{16}{No}}{16} = \frac{1}{No} = gm$$

أى

$$1 \ amu = \frac{1}{6.025 \times 10^{23}}$$

$$1 \ amu = 1.66 \times 10^{-24} \ gm \qquad (1-1)$$

ويتضح من المعادلة (١ـ١) أن التعبيرعن الكتل الذرية بالمقياس المطلق غير ملائم ولذلك يفضل استخدام المقياس الكتلي الفيزيائي . وهناك سبب آخر يدعو للتفضيل وهو أن المقياس الفيزيائي مقياس نسبي له مميزات حسنة اذ أن الكتب الذرية تعبر بأكثر دقة في الوحدات النسبية ( ) من أن تعبر بالوحدات المطلقة (غرام) وذلك لأن جهاز المطياف الكتلي الذى تقاس به الكتل الذرية يستند على المقياس النسبي .

٢ـ طاقة الربط النووية: وجد تجريبيا " أن كتلة النواة أصغر من مجموع كتل النيوترونات والبروتونات المكونة لها عندما تكون مكوناتها على انفراد . وقد عللت هذه الظاهرة بأن جزء من كتلة البروتونات والنيوترونات تتحول الى طاقة ربط فيما بينها ، ويمكن حساب طاقة الربط هذه من قانون تكافوء الكتلة والطاقة لآينشتاين ويكتب كما يلي :

$$Eb = \Delta M.C^2 \qquad (١ـ٢)$$

حيث سرعة الضوء في الفراغ، (ΔM) هي التغير في الكتلة ويدعى بنقص الكتلة (mass deffect) ويعرف بأنه الفرق بين مجموع البروتونات والنيوترونات في الحالة الانفرادية عن مجموعها في حالة وجودها في النواة . واذا كان لدينا نواة عدد بروتوناتها (Z) وعدد نيورتوناتها (N) اذن يمكن كتابة النقص في الكتلة رياضيا " كما يلي :

$$\Delta M = Z.M_H + N.\ M_H - M \qquad (١ـ٣)$$

حيث M_H هي كتلة ذرة الهايدروجين المتعادلة ($_1H^1$) فقد استعملت في الحسابات بدلا " من كتلة البروتون و Mn هي كتلة النيوترون ، Mg هي الكتلة الذرية للنظير الذى عدده الذرى (Z) وعدده الكتلي (A) و E_b هي طاقة الربط وتعرف كذلك بالطاقة التي يجب أن تعطي لبروتونات و نيوترونات النواة لتنفصل عن بعضها البعض تماما " .

ولحساب طاقة الربط نستخرج أولا " النقص في الكتلة بوحدة الغرام ، ونضربها بمربع سرعة الضوء والوحدة التي نستعملها لسرعة الضوء هي (سم / ثا) فتكون نتيجة الطاقة بوحدة الأرك ، ولكن هذه الوحدة غير مناسبة في العمليات الحسابية النووية ويستخدم بدلا " من هذه الوحدة وحدة أكثر ملائمة هي وحدة الالكترون فولت التي يرمز لها بـ (ev) ومضاعفاتها كيلو الكترون فولت ويرمز لها بـ (kev)

... الكترون فولت Mev وتعرف وحدة الالكترون فولت بالطاقة ... التي يكتسبها الالكترون ... تعجيلاً بسبب وضعه في مجال كهربائي حاصل من فرق ... فولت واحد .
... الشغل المصروف على الالكترون المسبب من فرق جهد ... يساوي (ev) لذلك فأن

$1\ ev = 1.6 \times 10^{-12}$

$1\ ev = 1.6 \times 10^{-12}$ (١ـ٤)

إن ... بين وحدة الكتلة الذرية ووحدة الالكترون فولت كثيراً ما ... خدمها في العمليات الحسابية ... أن نجد هذه العلاقة بأستخدام علاقة تكافؤ الكتلة ... لاينشتاين .

$1\ amu = 1.66 \times 10^{-24}\ gm$

... 1 amu بوحدات الطاقة :

$1\ amu = 1.66 \times 10^{-24}\ (3 \times 10^{10})^2$

$1\ amu = 1.494 \times 10^{-3}\ erg$ (١ـ٥)

... (١ـ٥) على (١ـ٤) ... على ما يلي :

$1\ amu = \frac{1.494 \times 10^{-3}}{1.6 \times 10^{-12}}$ ...

$1\ amu = 931 \times 10^{6} = 931\ Mev$ (١ـ٦)

إن معادلة (١ـ٦) تعطينا العلاقة بين وحدتي الالكترون فولت والكتلة الذرية وبذلك تسهل علينا ... حساب طاقة الربط وذلك بايجاد نقص الكتلة بوحدة الكتلة الذرية ونضربها بـ (٩٣١) فالنتيجة ... الربط بوحدة مليون الكترون فولت (Mev) ولتوضيح طريقة حساب طاقة الربط النووي نأتي ... الامثلة الاتيـــة :

... الاول : احسب طاقة الربط لنواة $_1H^2$

... : نحسب نقص الكتلة طبقاً للمعادلة (١ـ٣)

$\Delta M = Z.M_H + NM_n - M$

$M_n = 1.00894\ ,\quad M_H = 1.00813$ ... أن

$M = 2.01472$ ... ذرة الهايدروجين $_1H^2$

$\Delta M = 1 \times 1.00813 + 1 \times 1.00894 - 2.01472$

$\Delta M = 0.00235\ amu.$

$Eb = 931.\ \Delta M\ Mev$

$Eb = 2.14\ Mev.$

المثال الثاني : احسب طاقة الربط لنواة $_{92}U^{238}$

$\Delta M = ZM_H + NM_u - M$

بما أن $M = 238.13$ amu.

اذن $\Delta M = 92 \times 1.00813 + 146 \times 1.00894 - 238.13$

$\Delta M = 1.92$ amu.

اذن $Eb = 831 \times 1.92$

$Eb = 1787.52$ Mev.

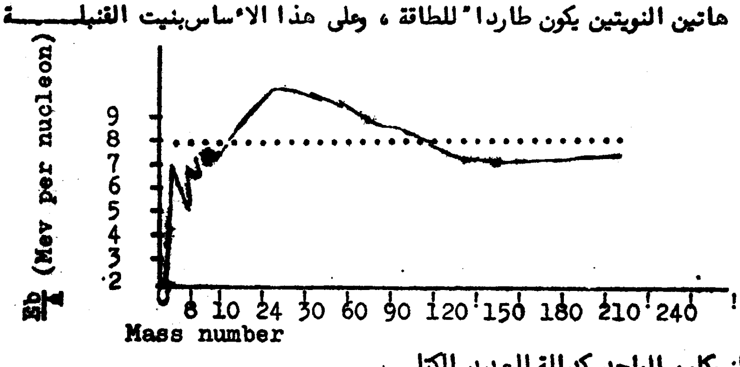
ومن المفيد أن يرسم خط بياني بين الطاقة الرابطة للنيوكلون الواحد أى $\frac{Eb}{A}$ مرسوماً ضد العدد الكتلـــي A - ، كما هو مبين في الشكل (١-٣) ، ولهذا الخط البياني خواص رئيسية منها :

١- ان الطاقة الرابطة لجميع النويات موجبة ، اى ان النواة تحتاج طاقة اضافية من مصدر خارجي لفصل نيوكلوناتها بعضها عن البعض الاخـــــر .

٢- ونرى من هذا الشكل أنه حينما تكون قيمة A أكبر من (٢) تزداد الطاقة الرابطة للنيوكلون الواحد بفجأة وتكون أعظم مايكون عندما : $A = 4n$

حيث n تساوى ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤

ويستفاد من هذا التغير المفاجيء الكبير لهذه المنطقة الصورة بين A تساوى (٢) و A تساوى ٢٠ فـي تحرير الطاقة لانه عندما تتحد نويتان خفيفتان في هذه المنطقة لتكونان نواة ، فأن الطاقة الرابطة للنيوكلون الواحد لهذه النواة المتكونة تكون أكبر من مجموع الطاقة الرابطة للنيوكلون الواحد لتلك النويتين الخفيفتيـــن ومغزى هذا ان الاتحاد بين هاتين النويتين يكون طارداً للطاقة ، وعلى هذا الاساس بنيت القنبلـــــة الهيدروجينيـــــة .



شكل (١-٣)

معدل الطاقة الرابطة للنيوكلون الواحد كدالة للعدد الكتلي .

٣ـ ونرى من هذا الشكل أيضاً أنه حينما تكون قيمة A أكبر من (٢٠) فان الطاقة الرابطة للنيوكلون الواحد تزداد ببطأ من (8 Mev) الـ (8.5 Mev) عند A تساوى تقريباً (٦٠) .

٤ـ أما عندما تكون A أكبر من (٦٠) فأن طاقة الربط للنيوكلون الواحد تبدأ بالتناقص ببطء حتى تبلغ 7.5 Mev عند أثقل العناصر وسبب هذا التناقص زيادة القوى الكهربائية التنافرية .

وهذه الخاصية يستفاد منها في تحرير الطاقة ، لانه عندما تنشطر نواة ثقيلة في هذه المنطقة الى نواتين خفيفتين فأن الطاقة الرابطة للنيوكلون الواحد تذهب من الاقل الى الاكثر وبذلك عندها تتحرر الطاقة . وتسمى هذه العملية بعملية الانشطار (fission process) ، وعلى هذا الاساس بنيت القنبلة النووية والمفاعلات النووية .

هـ وهناك ملاحظة مهمة في الشكل وهي أن قيم $\frac{Eb}{A}$ لاتتغير تغيراً كبيراً عند جميع قيم (A) ما عدا عند النويات الخفيفة ، ومقدار هذا التغير محصور بين ٧٫٥ الى ٨٫٥ مليون الكترون فولت ، ولهذا نستطيع أن نكتب المعادلة الاتية :

$$\frac{Eb}{A} \simeq \text{constant}$$

أذن

$$Eb \simeq \text{constant} \times A$$

$$Eb \propto A \qquad (١ـ٧)$$

ان المعادلة (١ـ٧) تشير الى أن مجموع الطاقة الرابطة النووية تتناسب طردياً مع العدد الكتلي (A) . وهذه الملاحظة مهمة جداً في تفسير طبيعة القوة التي تمسك مكونات النواة . وسنبحث هذه أكثر تفصيلاً في بند آخر من هذا الفصل .

٣ـ نصف القطر النووي : Nuclear Radius

وضحت التجارب التي تقيس حجم النواة مثل تجربة تشتت جسيمات ألفا من صفيحة رقيقة جداً وهي التي شرحناها سابقاً ، وتجربة تشتت النيوترونات ذات الطاقة العالية ، بأن حجم النواة يتناسب طردياً مع عدد النيوكلونات الموجودة .

$$V \propto A \qquad (١ـ٨)$$

حيث V حجم النواة ، A العدد الكتلي

واذا افترضنا ان شكل النواة كرة فأن حجمها V يكتب كما يلي :

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

حيث R نصف قطر النواة ، وبما أن $\frac{4}{3}\pi$ كمية ثابتة اذن V يمكن كتابته كما يلي :

$$V \propto R^3$$

اذن

$$R^3 \propto A$$

$$R \propto A^{\frac{1}{3}}$$

اذن

$$R = Ro\, A^{\frac{1}{3}} \qquad (١-٩)$$

حيث Ro ثابت التناسب ، وقد أوجدت قيمة Ro تجارب كثيرة فكانت تتراوح بين ٢ر١ × ١٠^-١٣ سم الى ٥ر١ × ١٠^-١٣ سم .

مثال :

أوجد نصف قطر نواة البريليوم Br^{80} اذا كان $(Ro = 1.4 \times 10^{-13} cm)$

الحـــل

$$R = Ro\, A^{\frac{1}{3}}$$

$$= 1.4 \times 10^{-13} \times (80)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 1.4 \times 10^{-13} \times 4.3$$

$$R = 6.0 \times 10^{-13} \text{ cm}$$

أو

$$R = 6 \text{ f}$$

بما أن وحدة السنتيمتر كبيرة جداً بالنسبة لقطر النواة ، فقد أستخدمت وحدة أكثر ملائمة من السنتيمتر هي وحدة الفرمي ويرمز لها بـ f وكل واحد فرمي يساوى ١٠^-١٣ سم أى :

$$1f = 10^{-13} \text{ cm.}$$

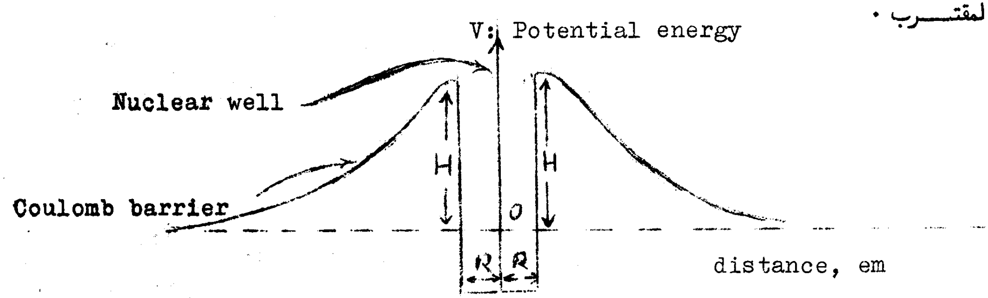
٤- الحاجـــز الكولومبـــي النووى : NUCLEAR COULOMBIC BARRIER

أن وجود البروتونات في النواة تكسبها شحنة موجبة ، ولهذا عندما يقترب جسم ذو شحنة موجبة من النواة فأنه يعاني قوة تنافرية تدعى بالحاجز الكولومبي النووى ، أن طاقة جهد الحاجز الكولومبـــي يساوى حاصل ضرب شحنة النواة في شحنة الجسم المقترب مقسوماً على المسافة بين مركزيهما ، ويكتب رياضياً كما يلي :

$$V = \frac{(Z_1 e)\quad (Z_2 e)}{D} \qquad (١-١٠)$$

حيث V طاقة جهد الحاجز الكولومبي ، Z_1 العدد الذرى للنواة ، Z_2 العدد الذرى للجسم

المقترب ، e قيمة شحنة البروتون ، D المسافة بين مركز النواة ومركز الجسيم المقترب . وفي الشكل (١ـ٤) رسمت الطاقة الكاملة للجسيمة المشحونة بالشحنة الموجبة كدالة للمسافة بين مركز النواة ومركز الجسيم المقتـــرب .



شكل (١ـ٤)

ويتضح من الشكل (١ـ٤) ، عندما يكون الجسيم المقترب الموجب الشحنة على بعد r حيث r أكبر من R فأنه يجابه قوة تنافرية كولومبية طاقتها الكامنة تساوى $\frac{Z_1 Z_2 e^2}{r}$ ، وأما عندما يكون الجسيم علـــى مسافة r بحيث تكون أصغر من R فأن الجسيم يجابه قوة تجاذبية كبيرة جداً أى أن الطاقة الكامنـــة تنخفض انخفاضاً " شديداً " وقد سميت هذه القوة بالقوة النووية ولا يمكن رسم منحنى يمثل الطاقة الكامنــــة للجهاز عندما تكون r أقل من R دون الاطلاع الكافي على طبيعة هذه القوة النووية . وللسهولة فقـــد أفترضت قيمة ثابتة U_o لانخفاض الطاقة الكامنة لهذا الجهاز عندما r تساوى R فقد وصل المنحنى بصورة بسيطة . وهناك ملاحظة مهمة وهي أن الجسيم المقترب من النواة لا يطيع قوانين الميكانيك الكلاسيكي بالضبط بل يطيع قوانين ميكانيك جديد يسمى بالميكانيك الكمـــــي (quantum mechanic) الذى أوجـده شــــرودينجر في سنة ١٩٢٦ . وطبقاً لهذا الميكانيك فأن الجسيمة التي لها طاقــة حركية أقل من الطاقة الكامنة للحاجز الكولومبي عند r = R يمكنها اختراق الحاجز ولكن بأحتمالية معينـــة . وكذلك هناك احتمال معين لاختراق الحاجز الكولومبي عندما تكوى الطاقة الحركية للجسيم المقترب أكبر من طاقة جهد الحاجز الكولومبي عنـــد (R = r)

٥ ـ القــــوى النوويـــــــة : NUCLEAR FORCE

أن وجود النيوترونات البروتونات على أبعاد متقاربة جداً في حدود 10^{-13} سم ، يزعمنا بأن نفترض وجود قوى جذب شديدة بينهما ، وهذه القوى من نوع جديد تماماً ، فهي ليست قـــوى كهربائية اذ أن الديوترون $_1H^2$ الذى يتركب من بروتون موجب الشحنة ونيوترون متعادل الشحنة يكــــون نواة مستقرة . وقوى الجاذبية أصغر بكثير من أن تفسر الاستقرار النووى ، ولا توجد أية قوة أخـــــرى في الفيزياء الكلاسيكية أو الذرية يمكنها أن تفسر الاستقرار النووى ، ويسمى هذا النوع الجديد من القوى بالقوة

النووية Nuclear Force وقد درست ظواهر هذه القوة بواسطة تجارب التشتت لجسيمات ألفا التي أجراها رذرفورد في سنة ١٩١١م ٠ والتي تكلمنا عنها في البند (١ـ٣) ، فكانت نتيجة الدراسة ان لهذه القوة خواص منها :

١ـ قصيرة المدى Short Range

٢ـ عدم اعتمادها على الشحنة الكهربائية Charge- independent

تتضمن الخاصية الاولى على ان تأثير القوى النووية يكون ملموساً عند مسافات تقع في حدود الابعاد النووية 10^{-13} سم ، ويتلاشي بسرعة خارج تلك المسافات كما في الشكل (١ـ٤) ٠ واذا لم يكن الامر كذلك فأن تجارب تشتت جسيمات الفا ما كانت للتفق مع معادلة رذرفور للتشتت الكهربائي حتى في الحالات التي تقترب فيها من النويات الى مسافات صغيرة نوعاً ما ٠ أما القوى المؤثرة عند مسافات أبعد من ذلك فهي قوى كهربائية صرفة ٠ ويمكن استنتاج الخاصية الاولى كذلك من الشكل (١ـ٣) الذى استنتجنا منه المعادلة (١ـ٧) التي تنص على أن الطاقة الرابطة الكليـة تتناسب تناسباً طردياً مع عدد النيوكلونات A الموجودة في النواة ٠ اذا افترضنا أن كل نيوكلون في النواة عددها الكتلي (A) تتفاعل مع جميع النيوكلونات فأن الطاقة الرابطة الكلية يمكن كتابتها رياضياً كما يلي :

$$\text{Total binding energy} = E_b \propto A(A-1) \qquad (١ـ١١)$$

وفي حالة النويات الثقيلة يمكن اهمال A بالنسبة الى A^2 وبالتالي يمكن كتابة المعادلة (١ـ١١) كما يلي :

$$E_b \propto A^2 \qquad (١ـ١٢)$$

وواضح من المعادلة (١ـ١٢) ان الطاقة الرابطة الكلية تتناسب تناسباً طردياً مع A^2 وهذا يخالف الاستنتاج التجريبي المتضمن في المعادلة (١ـ٧) على أن الطاقة الرابطة الكلية تتناسب تناسباً طردياً مع (A)٠

اذن فرضيتنا على أن كل نيوكلون يتفاعل مع جميع النيوكلونات الموجودة في النواة غير صحيحة ٠ واذا أفترضنا ان كل نيوكلون يتفاعل مع النيوكلونات المجاورة له فقط ، اذن الطاقة الرابطة الكليـة Eb يمكن كتابتها رياضياً كما يلي :

$$E_b \propto A \qquad (١ـ١٣)$$

وان المعادلة (١ـ١٣) توافق المعادلة (١ـ٧) ، ومن هذه الفرضية نستنتج ان النيوكلون لا يؤثر

بقوة نووية على النيوكلونات غير المجاوره له ، وبكلمات أخرى أن القوى النووية قصيرة المدى .

٢ـ الخاصية الثانية أن القوى النووية لا تعتمد على الشحنة و وتعني أن القوة النووية بين بروتونين نفسها بين نيوترونين وكذلك هي نفسها بين بروتون ونيوترون . ولكن القوة النووية بين بروتونين تقل بسبب وجود القوة الكهربائية التنافرية بينهما . ويمكن استنتاج هذه الخاصية من تجارب تشتت البروتونات أو النيوترونات من قبل غاز الهيدروجين .

وفي سنة ١٩٣٧ م وضع الفيزيائي الياباني يوكاوا H. Yukawa رأيه نظرية حاول فيها تفسير القوى النووية كنتيجة لتبادل جسيمات غير معروفة بين نيوكلونين متجاورين ، وقد حسب يوكاوا كتلة الجسيمات المتبادلة نظريا " فكانت تساوى مئتين مرة قدر كتلة الالكترون تقريبا " . وبعد سنتين من وضع يوكاوا أكتشفت جسيمات ميوميزون Mu meson وكانت كتلتها تساوى ٢١٠ مرة قدر كتلة الالكترون ، وتبدو وكأنها جسيمات يوكاوا المتبادلة ، وفي سنة ١٩٤٧ م أكتشفت جسيمات باى ميزون Pi- meson وكتلتها تساوى ٢٧٣ مرة قدر كتلة الالكترون . بما أن باى ميزون يتفاعل تفاعلا " قويا " مع النيوكلونات . بينما ميوميزون لم يكن كذلك ، ولهذا أعتقد الان ان جسيمات باى ميزون هي جسيمات يوكاوا المتبادلة .

الفصل الثـــــــانـــــى

النشــــــاط الا شــــــعاعــــى

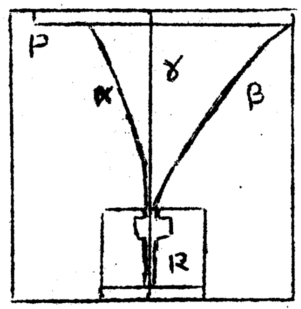
RADIOACTIVITY

****

- الفصـــــل الثانـــــــي -

(٢ـ١) مقدمـــــــــــة :

أكتشف هنرى بكريل Henri Becquerel سنة ١٨٩٦ ظاهرة النشاط الاشعاعي ، فكان له أثر كبير في دراسة تركيب الذرة ان الاشعاعات المنبعثة من المواد المشعة على ثلاثة أنواع ويمكن اثبات ذلك بأن نأخذ ملحاً ذا نشاط اشعاعي ونضعه في قعر اخدود طويل ضيق محفور في قطعة مكعبة من الرصاص كما في الشكل (٢ـ١) .



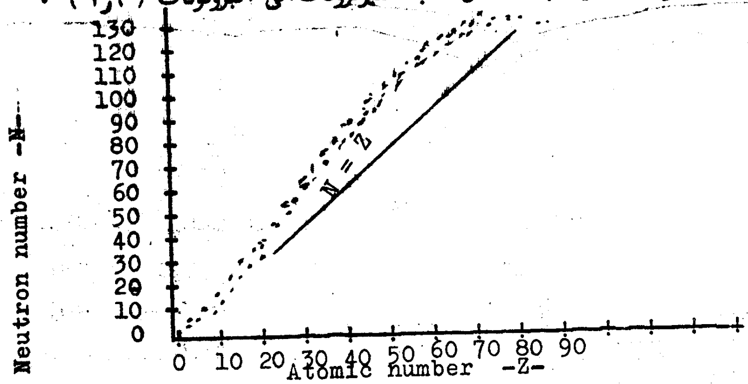
شكل (٢ـ١)
الاشعاعات الثلاثة : ألفا ، بيتا و كامـــا

فتخرج من الشق حزمة تكاد تكون متوازية منبعثة من المادة ذات النشاط الاشعاعي R أما الاشعة المنتشرة في اتجاهات اخرى فيمتصها الرصاص ، وقطعة الرصاص هذه موضوعة في صندوق لاينفذ الهواء اليه ، ويوضع لوح فوتوغرافي P في أعلى الصندوق وعلى مسافة قصيرة من قصعة الرصاص ، وثم يفرغ الصندوق من الهواء منعاً لامتصاص الهواء للاشعة . ثم يستعمل مجال مغناطيسي شديد في اتجاه عمودي لمستوى سطح الورقة . وبعد تعريض اللوح الفوتوغرافي مدة مناسبة من الزمن يلاحظ عليه ثلاثة خطوط متميزة . فاذا كان اتجاه المجال المغناطيسي بعيداً عن القارئ فأن الدقائق ذات الشحنة الموجبة تنحرف نحو اليســـار ذات الشحنة السالبة تنحرف نحو اليمين أما الاشعة المتعادلة الشحنة أي التي لاتحمل شحنة فأنها لاتحيد عن مسارها المستقيم . وقد أثبتت التجارب فيما بعد أن الدقائق الموجبة الشحنة عبارة عن نويات الهليوم ، أما الدقائق السالبة الشحنة عبارة عن الالكترونات ذات السرعة القريبة من سرعة الضوء ، وأما أشعة كامـــا أي التي لاتحمل شحنة فهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية .

(٢-٢) الاستقرار النووي : NUCLEAR STABILITY

عرف (١٠٠٠) نظير في الطبيعة لحد الان غير أن زهاء ٢٥٪ منها فقط مستقر و ٧٥٪ غير مستقر ، ونستنتج من هذا أن القاعدة هي عدم الاستقرار لتركيب النيوكليونات والشكل (٢-٢) هو منحنى لعدد النيوترونات N مرسوم ضد عدد البروتونات Z للنظائر المستقرة أن النويات التي لها نفس عدد النيوترونات تظهر في شكل (٢-٢) على الخط الافقي ، أما النويات التي لها نفس عدد البروتونات تظهر في شكل (٢-٢) على الخط الشاقولي وتسمى بالنظائر (istope)، والنويات التي لها نفس العدد الكتلي تظهر على الخط الذى يصنع ٤٥° مع كل من المحورين .

أن النويات الخفيفة تتجمع حول الخط الذى يكون فيه N = Z ، أما بالنسبة للنويات المتوسطة الثقيلة تأخذ بالابتعاد عن الخط N = Z الى جهة محور N ، بسبب أن عدد النيوترونات يكون أكثر من عدد البروتونات ، وعند النويات الثقيلة جداً تصل نسبة النيوترونات الى البروتونات (١٫٦) .



شكل (٢-٢)

في المنحنى ملاحظة تستدعي الانتباه وهي أن أكثر من نصف النويات المستقرة تحتوى على عدد زوجي من البروتونات وعدد زوجي من النيوترونات وتعرف بنويات زوجي - زوجي مثل ($_8O^{16}$, $_2He^4$) وحوالي ٢٠٪ فيها Z زوجي و N فردى وتسمى بنويات الزوجي - فردى وعدد مماثل تقريباً فيه Z و N زوجي وتسمى بنويات فردى - زوجي بينما هناك اربع نويات مستقرة فقط فيها Z فردى و N فردى وتسمى بنويات فردى - فردى مثل ($_1H^2$, $_3Li^6$, $_5B^{10}$, $_7N^{14}$) . أن النويات الواقعة الى يمين منطقة الاستقرار في الشكل (٢-٢) تمثل نويات غير مستقرة فيها نقص في عدد النيوترونات أو زيادة في عدد البروتونات ونموذج انحلالها الاكثر احتمالاً هو أما أن يكون ببعث بوزيترون لكي يقلل من عدد البروتونات أو بأسر الكترون لكي يزيد من عدد النيوترونات . أما النويات الواقعة الى جهة يسار منطقة الاستقرار تمثل نويات غير مستقرة فيها زيادة في عدد النيوترونات أو نقص في عدد البروتونات ، وأن نموذج انحلالها

هو ببعث دقائق بيتا السالبة ، غير أن بعث الدقائق الثقيلة تعتبر عملية مناقسة لما سبق في هذا الانحلال . والى حد ما فأن الاستقرار صفة نسبية تعتمد على قدرتنا في قياس انصاف الاعمار الطويلة أو الفعاليات الواطئة ، ومع تحسن الاساليب التجريبية فأن بعض النظائر التي تعتبر مستقرة في الوقت الحاضر قد يكشف ويثبت انها نشطة اشعاعيا " باعمار طويلة .

(٢ـ٣) تحلل ـ الفا (التحلل المصحوب بانبعاث دقائق الفا) :

١ـ خواص تحلل الفا :

١ـ ان النويات الباعثة بجسيمات الفا يقل عددها الكتلي A باربع وحدات وعددها الذرى Z بوحدتين ، بسبب ان جسيمات الفا عبارة عن نويات الهليوم ، مثال ذلك :

$$_{92}U^{238} \longrightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$$

وقد لوحظ ان العناصر التي لها نشاط اشعاعي ببعث جسيمات الفا تكون فوق الرصاص في الجدول الدوري .

٢ـ ولجسيمات الفا المنبعثة قابلية اختراق المواد ولكنها قابلية ضعيفة اذا ما قورنت بأشعة كاما وبيتا ، وأن الصفيحة الورقية السميكة تكون كافية لايقاف جسيمات الفا المنبعثة من المواد المشعة ايقافا " كاملا " .

٣ـ الطاقة الحركية لجسيمات الفا تتراوح قيمتها بين (٣) مليون الكترون فولت و(٩) مليون الكترون فولت ، عند انبعاثها من النويات المشعة . ان طاقة تحلل الفا تعتمد على العدد الكتلي للنوية وله حالتان :

أ ـ طاقة تحلل ـ الفا تزداد مع Z بثبوت A ، وأن الجدول الاتي يوضح هذه الخاصية :

Radionuclide	Energy - Mev. of disitegrate of alpha
$_{83}Bi^{212}$	6.0466
$_{84}Po^{212}$	8.7801

ب ـ طاقة تحلل ـ الفا تقل عندما تزداد A بثبوت Z ، وأن الجدول الاتي يوضح هذه الخاصية :

Radionuclide	Alpha - disintegration energy, Mev.
$_{84}Po^{212}$	8.95
$_{84}Po^{214}$	7.83
$_{84}Po^{216}$	6.90
$_{84}Po^{218}$	6.11

٤ـ العلاقة بين مدى دقيقة ألفا ومعدل عمر النظير الباعث :

تعرف هذه العلاقة بقانون كايكر ـ نوتال Geiger-Nuttal Law ويمكن الحصول على هذه العلاقة من ملاحظة قيم المدى والطاقة ونصف ـ العمر وثابت التهدم لجسيمات ألفا ، اذ أن مدى جسيمات الفا تتراوح بين ٢٫٥ سم الى ٨٫٦٩ سم ما عدا المدى الطويل لجسيمات الفا النادرة . وأن طاقة تهدم ـ ألفا تتغير من حوالي ٤٫٠٥ م ٠ ١٠ ق . الى ٨٫٩٥ م ١٠ ق . وأن نصف العمر يتغير من ١٫٣٩ × ١٠^١٠ سنة الى ٣ × ١٠^-٧ ثانية . وأن ثابت ـ التهدم يتغير من ١٫٥٨ × ١٠^-١٨ ثا^-١ الى ٢٫٣١ × ١٠^٦ ثا^-١ وبالمقارنة بين قيم الطاقة وثابت التهدم والمدى ونصف العمر نجد أن :

أ ـ ثابت التهدم (λ) يتغير بسرعة جداً ولاقصى درجة ، بينما التغير المقابل له في الطاقة قليل جداً .

ب ـ أن النويات الباعثة لجسيمات الفا والتي لها أطول نصف عمر تبعث بجسيمات ألفا ويكون لها أقل طاقة .

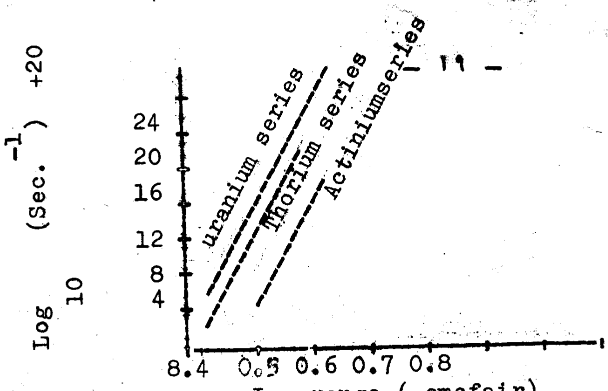
والجدول الاتي يبين هذه الخاصية :

Nuclide	half-life	Alpha- Disintegration energy in Mev
Po^{212}	3.0×10^{-7}s	8.95
Th^{232}	1.39×10^{10} y	4.06

وعندما يرسم لوغاريتم ثابت التهدم ضد لوغاريتم المدى ، الجسيمات ألفا المنبعثة من نويات تعود بأجمعها الى واحدة من متسلسلات النشاط الاشعاعي الثلاثة فأنه يحصل على خط بياني مستقيم تقريباً ، واذا رسم للمتسلسلتين المشعتين الباقيتين ، فأننا نحصل على ثلاثة خطوط مستقيمة متوازية كما هو موضح في الشكل (٢ـ٣) . ويمكن كتابة هذه الخطوط المستقيمة رياضياً كما يلي :ـ

$$\log \lambda = A \log R + B \qquad (٢ـ١)$$

وتعرف معادلة (٢ـ١) بمعادلة كايكر ـ نوتال ، فيها λ ترمز الى ثابت التهدم ، و A عدد ثابت تكاد تكون له نفس القيمة لكل من متسلسلات النشاط الاشعاعي الثلاث ، B ثابت تختلف قيمته من متسلسلة الى أخرى .



The Geiger-Nuttall rule شكل (٢ـ٣) قاعدة كايكر نوتال

وقد أستخدمت معادلة (٢ـ١) لتقدير نصف العمر لبعض نواتج التحلل التي يصعب قياسها بطرق مباشرة .
وقد ثبت تجريبيا "أن مدى جسيمات الفا (R) يتناسب طرديا" مع $E^{3/2}$ حيث E الطاقة الحركية لجسيمة الفا ، وبذلك يمكن كتابة قاعدة كايكر نوتال كما يلي :

$$\text{Log } \lambda = A' \text{ Log } E + B' \qquad (٢ـ٢)$$

أن معادلة (٢ـ٢) تعبر عن علاقة لوغاريتم ثابت التحلل λ مع الطاقة (E) .

٥ـ طيف طاقة جسيمات الفا المنبعثة من العناصر المشعة : وجد بالتجربة أن جسيمات الفا المنبعثة من العناصر المشعة لها طاقات محددة مثلا" U^{238} تنبعث منه جسيمات لها ٧٧٪ منها لها طاقة مقدارها ٤٫١٨ م أ ق . و ٢٣٪ لها طاقة مقدارها ٤٫١٣ م أ ق . والجدول الاتي يبين طيف الطاقة بجسيمات ألفا المنبعثة من نويات أخرى

Nuclide	Alpha-energy in Mev.	Abundance %
$_{95}Am^{241}$	5.535	0.34
	5.503	0.21
	5.476	84.4
	5.433	13.6
	5.379	1.4
	5.314	0.015
$_{84}Po^{211}$	7.434	99
	6.88	0.5
	6.56	0.53

باكتشاف طيف جسيمات ألفا فقد نشأ سؤال وهو ماهو سبب انبعاث جسيمات الفا من النويات بطاقات محددة ثابتة ؟ وللجواب على هذا السؤال فقد أفترض أن في النواة عدد من مستويات الطاقة المحددة ، كما هو الموجود في الذرة ، وبهذا أن النواة تكون في الحالة الطبيعية عندما تكون في أوطأ مستوى طاقة لها .

ولكن تحت شروط معينة من المحتمل ان تكون النوات بمدة من الزمن فى حالة تهيج ومن الطبيعى ان النواة المتهيجة لها طاقة اكبر من الحالة الطبيعية • ان النواة فى حالتها المتهيجة من المتوقع ان تفقد طاقتها بواسطة احدى عمليات الانبعاث ومن امثلة ذلك انبعاث اشعة كاما والان اصبح معروفا ان النويات التى تبعث بجسيمات الفا بطاقات مختلفة تبعث كذلك باشعة كاما •
وقد استنتج من القياسات الدقيقة لطاقات جسيمات الفا وطاقات اشعة كاما بان اشعة كاما تبعث من النويات الناتجة التى تركت بحالة متهيجة بعد عملية انبعاث جسيمات الفا من النويات الاولية والان نأخذ مثالا على كيفية رسم مستويات الطاقة للنوات بالاستعانة بطيف الطاقة لجسيمات الفا :
دعنا ناخذ طيف جسيمات الفا المنبعث من Bi^{212} و الموضح فى الجدول الاتى :

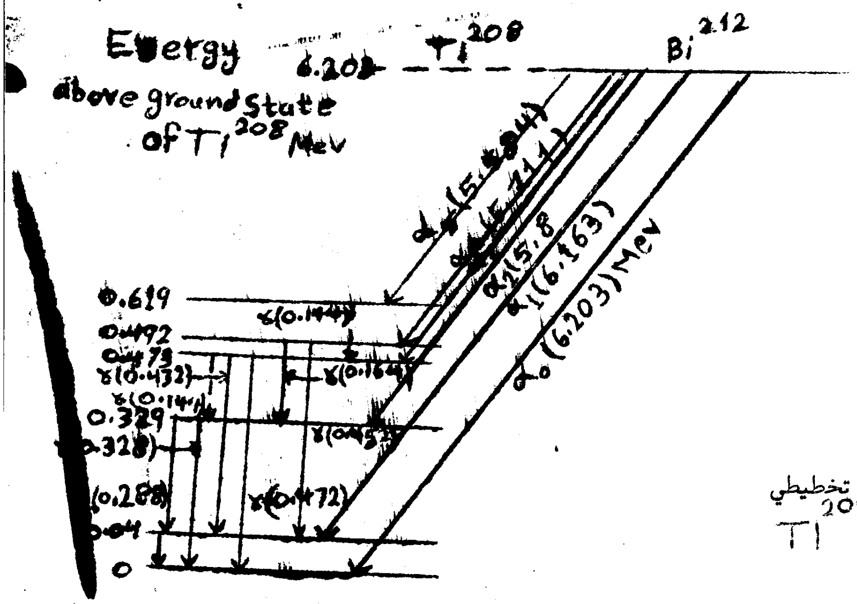
6

Group	Alpha_Particle energy-in Mev	Reltive number of Particle
α_0	6.086	27.2
α_1	6.047	69.9
α_2	5.765	1.7
α_3	5.622	0.15
α_4	5.603	1.1
α_5	5.478	0.016

عندما تنبعث جسيمة الفا من Bi^{212} تتحول الى Tl^{208} ويكتب هذا التحول بالرموز كما يلى :

$$Bi^{212} \xrightarrow{\alpha} Tl^{208}$$

بما ان طاقات جسيمات الفا لها ست قيم كما موضح فى الجدول اعلاه وعليه يمكن ان نفترض بوجود خمس حالات متهيجة على الاقل لنواة Tl^{208} وبذلك نتوقع ان النواة تنتقل من الحالة الاكثر تهيجا الى الحالة الاقل تهيجا وترافق عملية الانتقال هذه انبعاث اشعة كاما • فقد تحقق تجريبيا لحد الان ثمانية اشعاعات لكاما بطاقات (ف ٠٤٠ر٠ ، ٤٤٤ر٠ ، ١٦٤ر٠ ، ٢٨٨ر٠ ، ٣٢٨ر٠ ، ٤٣٢ر٠ ، ٤٥٢ر٠ ، ٤٧٢ر٠ مليون الكترون فولت لكل منهما) •
كل من هذه الاشعاعات لكاما يمكن ان توافق فرق الطاقة بين حالتين متهيجتين • ونتيجة للارتباط بين طاقات جسيمات الفا وطاقة اشعاعات كاما من الممكن بناء شكل مستويات الطاقة للنواة مشابها لشكل مستويات الطاقة الذرى •
ان الشكل التخطيطى لتحلل Bi^{212} الى Tl^{208} موضح فى الشكل (٢ ــ ٤) :



شكل (٢ـ٤) شكل تخطيطي لتحلل Bi^{212} الى Tl^{208}

أن الخطوط المائلة في الشكل (٢ـ٤) تشير الى مجموعات جسيمات ألفا المختلفة في الطاقة المشاهدة عند تحلل Bi^{212} الى Tl^{208} ، أما الخطوط الشاقولية تشير الى أشعاعات ـ كاما ،

(٢ـ٤) تحلل بيتا ـ (التحلل المصحوب بانبعاث جسيمات بيتا) :

أن النوع الثاني من أنواع تحول النشاط الاشعاعي يعرف بتحلل ـ بيتا Beta- Decay وعند تنبعث جسيمات بيتا التي هي عبارة عن الكترونات سريعة الحركة ، وسبب أنبعاثها كون نسبة $\frac{n}{P}$ للنواة الباعثة أكبر من النسبة اللازمة لحالة الاستقرار ، وللوصول الى حالة أكثر استقرارا" لا بد من تقليل قيمة نسبة $\frac{n}{P}$ ، وهذا يتم أما بتقليل عدد النيوترونات أو بزيادة عدد البروتونات ، وقد يتم تقليل النيوترونات في النواة بتحول النيوترون الى بروتون والكترون وجسيم آخر يعرف بالنيوترنيو ν ويكتب هذا التحول بالرموز كما يلي :

$$n \longrightarrow P + e^{-} + \nu$$

حيث P رمز للبروتون ، $\bar{e}$ رمز للالكترون

وعندما ينبعث جسيم بيتا (أي الالكترون) نتيجة لتحلل نظير مشع فأن العدد الذري للنواة الناتجة يزداد بمقدار الوحدة ، بينما يبقى العدد الكتلي دون تغييره كما هو مبين في الأمثلة الاتية :

$$1)\ _{35}Br^{80} \longrightarrow {}_{36}Kr^{80} + \bar{e} + \nu$$

$$2)\ _{49}In^{116} \longrightarrow {}_{50}Sn^{116} + e^{-} + \nu$$

طاقـــة تحلـــل ـ بيتـــــا :

ولو أنه لا يوجد تغير في العدد الكتلي للنواة الباعثة لجسيمات بيتا ، ولكـن يوجد تغير في كتلتها ، وأن الفرق بين كتلة النواة الباعثة والنواة الناتجة يتحول الى طاقة حسب قانون تكافؤ الكتلة والطاقة لأينشتاين ، أن الطاقة المنطلقة عند تحلل بيتا يمكن حسابها من الفرق بين كتلة الذرة الباعثة ذات العدد الكتلي A والعدد الذري Z ، وكتلة الذرة النهائية ذات العدد الكتلي A والعدد الذري (Z+1) وضرب الناتج بـ (٩٣١) ، ويمكن توضيح ذلك بالرموز كما يلي :

$$Q_{\beta} = ({}_{Z}M^{A} - {}_{z+1}M^{A})\ 931$$

وترمز ${}_{Z}M^{A}$ للكتلة الذرية للنظير الذى عدده الذرى Z وعدده الكتلي A ، و ${}_{z+1}M^{A}$ للكتلة الذرية للنظير الذى عدده الذرى (Z+1) وعدده الكتلي A .

مثال : احسب الطاقة المنطلقة عند تحلل ـ بيتا الممثل بالمعادلة الاتية :

$$_{49}In^{116} \longrightarrow {}_{50}Sn^{116} + e^{-} + Q_{\beta}$$

اذا كان $M_{In^{116}} = 115.94096$, $M_{Sn^{116}} = 115.93779$

الحـــل :

$$Q_{\beta} = 931(M_{In^{116}} - M_{Sn^{116}})$$

$$Q_{\beta} = 931(115.90096 - 115.93779)$$

$$Q_{\beta} = 2.95 \text{ Mev} ,$$

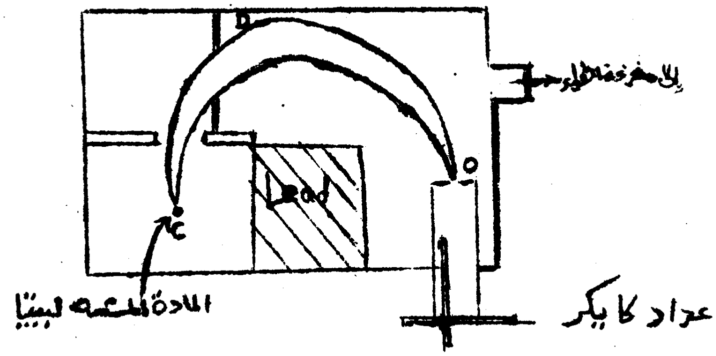
(٢ـ٤)

طيـــف ـ طاقـــة أشـــعة بيتـــا :

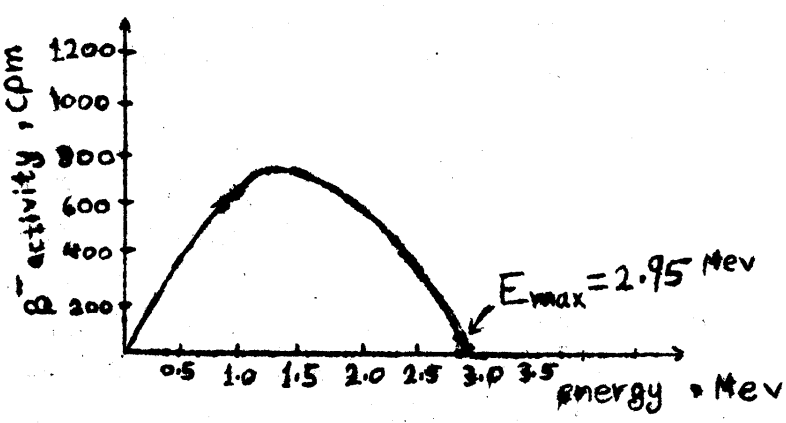
يمكن قياس سرعة وزخم جسيمات بيتا بواسطة انحراف مسلكها في مجال مغناطيسي ، وبالتالي نستطيع أن نحصل على منحنى توزيع الطاقة بأستعمال عداد كايكر الذى يوضع في موقع ثابت ، وبأستخدام مجال مغناطيسي H متغير وبذلك نحصل على عدد جسيمات ـ بيتا في الثانية الواحدة لمختلف قيم المجـال المغناطيسي (H) ، والجهاز المستخدم موضح في الشكل (٢ـ٥) ويسمى هذا الجهاز بسبكتروغـراف روبنسن المغناطيسي

شكل (٢ـ٥)

سبكتروغراف روبنسن المغناطيسي



ونتائج قياسات الزخم والسرعة بواسطة هذا الجهاز تبين أنه يوجد نوعان مختلفان من أطياف أشعة بيتا .
أحد هما طيف الخطوط الحادة والاخر الطيف المتصل . وقد ثبت [illegible]
الخطوط الحادة ناتج عن الكترونات تنبعث من القشرة K , L , M , N الذرة بفعل أشعة كاما
الخارجة من نواة نفس الذرة أو نواة ذرة مجاورة . أما الطيف المتصل فهو ناتج عن الكترونات منبعثة
من نواة ذرة نشطة إشعاعيا . ونحصل على الطيف المتصل برسم عدد الالكترونات الناتجة عن تحلل
بيتا كدالة لطاقتها ، فنحصل على منحنى مبين في الشكل (٢ـ٦) . يوجد في المنحنى توزيع متصل
للطاقة يبدأ من الصفر الى قيمة محدودة تسمى بنهاية نقطة الطاقة end Point energy



شكل (٢ـ ٦)
طيف طاقة أشعة
بيتا للنظير المشع In^{116}

نظريـــة - تحلـــل بيتـــا :

يتضح من الشكل (٢-٦) أن طاقة الالكترونات المنبعثة في عملية تحلل - بيتا لاتساوى كمية الطاقة المحسوبة لها في المعادلة (٢-٣) ، ولكن تؤخذ أي قيمة للطاقة بين الصفر والقيمة المحسوبة لها في المعادلة (٢-٤) كأعظم قيمة تأخذها وتسمى بنهاية نقطة الطاقة .

وأما معدل طاقة الالكترون المنبعث فقد حسب في هذه الحالة فكان يساوى ثلث نهاية الطاقة والقسم الباقي من قيمة نهاية الطاقة والذى يساوى حوالي ثلثين ، فقد أختفي من الظهور ولهذا فأن قواعد حفظ الطاقة لم تنطبق على هذه الحالة . وفي سنة ١٩٣٤ فسر اختفاء الطاقة بطريقين .

الطريق الاول بأن نتخلى عن فكرة قانون حفظ الطاقة خلال عملية تحلل - بيتا . وهذا التعليل مرفوض بسبب أن قانون حفظ الطاقة قد استعمل في كافة المجالات بنجاح .

الطريقة الثاني : بأفتراض أن جسيما "اضافيا" يتكون في عملية تحلل - بيتا هو الذى يحمل الطاقة المختفية ، ويسمى هذا الجسيم بالنيوترينو ، وطبقت هذه الفرضية بنجاح في نظرية فرمي لتحلل - بيتا

أن الجسيم الاضافي النيوترينو تأخر اكتشافه عمليا" بعد افتراضه نظريا" ببضعه سنين بسبب حاجته من حيث كونه متعادلا "كهربائيا" أى لايحمل شحنة كهربائية وله كتلة صغيرة جدا" أذا قورنت مع كتلة الالكترون ، ومن الممكن أن نعتبرها تساوى صفر . ان الطاقة المنطلقة في عملية تحلل - بيتا تتوزع بين جسيمة بيتا والنيوترونيو والنواة المرتدة (الناتجة) .

ان أى نظرية ناجحة لتحلل - بيتا لابد أن تعلل لنا مايلي :

١- شكل منحنى التوزيع ٢- وجود نهاية نقطة الطاقة .

٣- وجود النهاية العظمى للمنحنى

٤- الارتباط بين نقطة نهاية الطاقة وثابت التحلل decay constants في عمليـة تحلل بيتـا .

أن النظرية التي أستطاعت أن تعلل النقاط المذكورة آنفا" هي نظرية فرمي Fermy theory التي تستند على الافكار الاتية :

عندما تبعث النواة بجسيمة - بيتا فأن شحنتها تتغير بوحدة واحدة بينما عددها الكتلي يبقى ثابتا" ، عندما يكون الجسيم المنبعث الكترون فأن عدد البروتونات في النواة يزداد بوحدة واحدة وعدد النيوترونات يقل بوحدة واحدة ، بينما عندما ينبعث بوزيترون فأن عدد البروتونات يقل بوحدة واحدة وعدد

النيوترونات يزداد بوحدة واحدة . وعادة نشير الى هذه التحولات بالرموز الاتية

$${}_{0}n^{1} \longrightarrow P + e^{-} + \bar{\nu} \qquad (٢-٥)$$

$$P \longrightarrow n + e^{+} + \nu \qquad (٢-٦)$$

أن حساب احتمالية تحولات (٢ـ٥) و (٢ـ٦) تعتبر من المسائل الهامة في نظرية تحلل ـ بيتا وقد أنجزتها نظرية فرمي وذلك بأنجازها معادلة توزيع الطاقة لجسيمات ـ بيتا التي تقرر أن العدد الجزئي للنويات التي تتحلل في وحدة الزمن بأبعاث جسيمات ـ بيتا بطاقة مقدارها بين T و (T + dT) تكتب بالمعادلة الاتيــة :

$$P(T)dT = G^{2}|M|^{2}\, F(Z, T)\, (T+m_{o}c^{2})\,(T^{2}+2m_{o}c^{2}T)^{\frac{1}{2}}\,(T_{o} - T)^{2}\, dT$$

حيث G تشير الى شدة قوة فرمي F(Z,T) هي الدالة التي تصف تأثير المجال الكولومبي للنواة على جسيمات بيتا المنبعثة $|M|^{2}$ يدعى بـ Matrix element وهو يقيس احتمالية النويات التي ستعاني تحلل ـ بيتا T_o هي نقطة نهاية الطاقة (endpoint energy)

T هي الطاقة الحركية لجسيمة بيتا ، Z هو العدد الذرى للنواة الناتجة . وقد أقترح كوري Kurie في سنة ١٩٣٦ طريقة أكثر ملائمة لرسم النتائج التجريبية وتدقيقها مع النظرية . فقد أعاد كتابة المعادلة (٢ـ٦) بالمعادلات الاتية :

$$T + m_{o}c^{2} = E$$

حيث E الطاقة الكلية للالكترونات المنبعثة وكذلك يمكن أن نبرهن بواسطة الميكانيك الكلاسيكي بما يأتي :

$$(T^{2} + 2m_{o}c^{2}T)^{\frac{1}{2}} = Pc$$

وكذلك يمكن كتابة مايلي

$$T_{o} - T = E_{o} - E$$

وأن

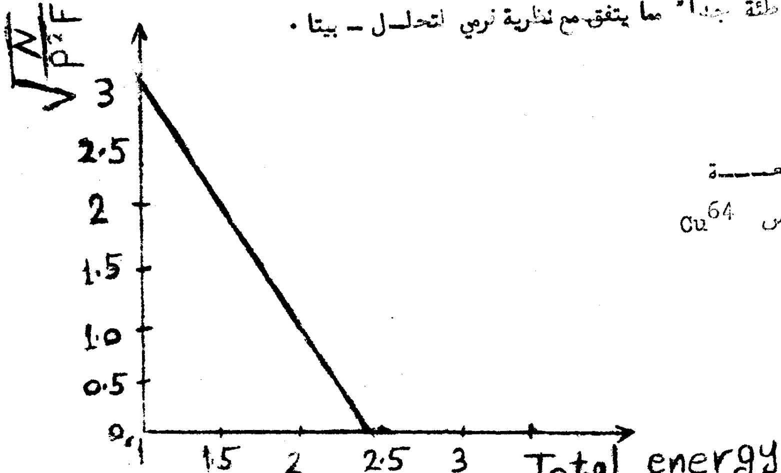
$$P(T)dT \propto N(T)\, dT$$

أذن

$$\sqrt{\frac{N(P)}{F\,EP}} = K\,(E_{o} - E) \qquad (٢-٧)$$

عندما يرسم $\sqrt{\frac{N(T)}{F\,E\,P}}$ كدالة للطاقة فيحصل على خط مستقيم يتقاطع مع احداثي الطاقة في E_o وفي الشكل (٢ـ٧) يظهر لنا رسم كورى لطيف دقائق بيتا السالبة المنبعثة من Cu^{64} وقد حصل عليه أوين وكوك Owen and Cook في سنة ١٩٤٩ وذلك بأستعمال مصادر منتظمة ورقيقة جداً حضراها بتبخير النحاس الفعال على ورقة رقيقة من الالمنيوم . ومن الشائع في رسوم كورى أن

يعــــبر عن الطاقة بوحدات m_ec^2 • ولحصـــل من هذه الاطياف على خطوط مستقيمــة حتى الطاقات الواطئة جدا" مما يتفق مع نظرية فرمي لتحلــل ــ بيتا •



شكل (٢ــ٧)

رسم كوري لطيف أشعــــــة بيتا السالبة للنحاس Cu^{64}

(٢ــ٥) تحــلل ــ كاما (التحلل المصحوب بانبعاث اشعة كاما) :

أكتشف فيلورد Villard في سنة ١٩٠٠ أشعة كاما وهي النوع الثالث من الاشعاعات التي تبعثها النواة ، وانبعاثها لا يسـبب للنواة تغيـر في عددها الذري (Z) او العدد الكتلي (A) • وتتصف هذه الاشعة بمايلي : ــ

١: لاتنحــرف خلال مرورها بالمجالين الكهربائي والمغناطيسـي ويعني هذا انها ليست لها شحنة كهربائية •

٢: اشعة ــ كاما عبارة عن امواج كهرومغناطيسية تشبه اشعة ــ أكس والضوء المنظور وامواج الراديوه ولكنهـــا تختلــــف عن اشعة ــ أكس من حيث المصدر اذ أن مصــدر اشعة ــ كاما من النـــواة بينمـــا اشعة ــ أكس من الاشعاع الذي ينتج بواسطة انتقال الالكترون بين مستويات الطاقــــة للذرة او من ابطاء وتسارع الالكترون •

٣: ليست لها كتلة ساكنــة •

٤: لها قابليـــة على اختراق المواد ، وخلال اختراقها المادة تمتصها المادة

ويمكن اشتقاق قانون الامتصاص لاشعة ــ كاما كما يلي : ــ

عندما تسقط حزمــة اشعة كاما ذات شـدة I على صفيحـة مادة رقيقة ذات سمـك dx فان تغير شـدة الحزمـة تتناسب طرديا مع السمك dx وشـدة الحزمة الساقطة I وتكتب رياضيا كمايلي :-

$$dI \propto -Idx \quad (٢-٧)$$

اذن

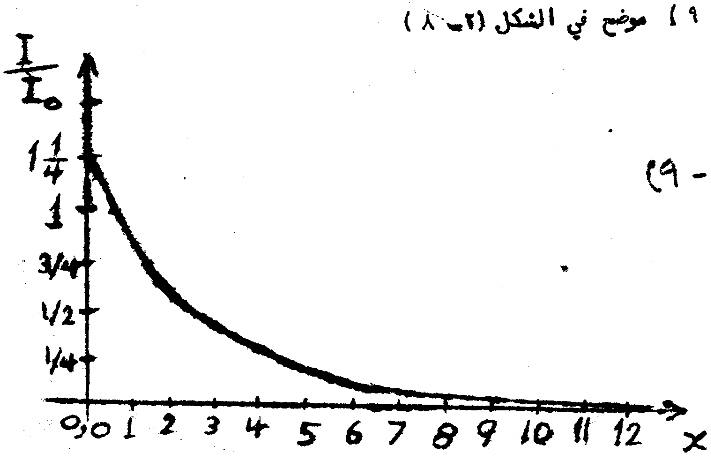
$$dI = -\mu Idx \quad (٢-٨)$$

حيث μ ثابت التناسب يدعى بمعامل الامتصاص (absorption coefficient) واذا كانت جميع فوتونات اشعة - كاما لها نفس الطاقة وان μ لا تعتمد على x فان تكامل المعادلة (٢-٨) يكون كمايلي :

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (٢-٩)$$

حيث I_0 تشير الى شدة الحزمة قبل مرورها خلال الصفيحة و I تشير الى شدة الحزمة بعد مرورها خلال الصفيحة .

ومنحني المعادلة (٢-٩) موضح في الشكل (٢-٨)



شكل (٢-٨)
منحني المعادلة (٢-٩)

٥- الخاصية الخامسة قابليتها على تأيين الغازات ضعيفة اذا قورنت بالنسبة الى جسيمات الفا وبيتا .

تفاعـل أشعـة كاما مع المادة :

ان المسؤول الرئيسـي عن امتصاص أشعة كاما ثلاث عمليات هي :-

١- الامتصاص الكهروضوئي .

٢- تشتت كومبتـن بواسطة الكترونات الذرة .

٣- توليـد ازواج من الجسيمات المشحونة .

بما ان المسؤول عن امتصاص أشعـة كامـا هذه العمليات الثلاث المذكورة آنفاً اذن يمكن كتابة معامل الامتصاص μ كما يلي :

$$\mu = \tau + \sigma + k$$

حيث τ يشير الى معامل امتصاص الكهروضوئي ، σ تشـير الى معامل امتصاص كومبتـن K تشـير الى معامل امتصاص توليـد الأزواج . والان نناقش كلا من تلك العمليات علـى حده :

١: في عملية الامتصاص الكهروضـوئي جميع طاقة الفوتون الساقط يمتصهـا الكترون واحد فقـط ويقذف بطاقة حركـية T قيمتها تعطى بالمعادلة الاتية:

$$T = h\nu - I$$

حيث h طاقـة الفوتون الساقط وان ν تردد الاشعة الساقطة و h ثابت بلانك الكمي I جهـد التأيين (ionization potential) للالكترون في الذرة .

اما حساب اعتماد τ على Z و $h\nu$ فقد حسبت من قبل Heilter وآخـرون وحصلـوا في احدى الحالات عندما $I < h\nu < mc^2$ على ان τ يمكن كتابتها بالمعادلة الاتية :

$$\tau \propto Z^5 N (h\nu)^{-3.5}$$

٢: ان تشـتت كومبتن يصف لنا تصادم الفوتونات مع الالكترونات الذرية التي يمكن ان نعتبرهـا طليقـة (اى لم تتوثق بالذرة بقوة) فيما اذا كانت اشعة كاما ذات طاقة عالية بالنسبة الى جهـد التأيين I وتكتب بالرموز كما يلي :

$$h\nu \gg I$$

عند تطبيـق قانون حفظ الطاقة والزخم على عملية تصادم الفوتون الساقط مع الالكترون الطليـق فنستنتج المعادلة الاتية

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + (1 - \cos\theta)\frac{h\nu}{mc^2}}$$

حيث $h\nu'$ طاقة الفوتون المشتت ، θ هي الزاوية التي تكون بين اتجاه الفوتون المشتت والفوتون الساقط . اما طاقة الالكترون المرتـــد (recoil electron) فيمكن كتابتها بالمعادلــــة الاتية :-

$$E = h\nu - h\nu' = h\nu\left[\frac{(1-\cos\theta)\frac{h\nu}{mc^2}}{1+(1-\cos\theta)\frac{h\nu}{mc^2}}\right]$$

وقد حسب بواسطة الميكانيك الكمي اعتماد σ على طاقة الفوتون من قبل Nishina و Klein وفي احدى الحالات الخاصة عندما $h\nu \gg mc^2$ فان σ يمكن كتابتها كمايلي :

$$\sigma = \frac{NZ}{h\nu}\left(\ln\frac{2h\nu}{mc^2} + \frac{1}{2}\right)$$

٣: في عمليـــة توليـــد الأزواج يحدث ان تختفـــي اشعة ـ كاما ويتولـــد بدلهـــا بوزيترون والكترون . فاذا تحول فوتون اشعة ـ كاما الذي طاقته تساوي $h\nu$ الى زوج من الدقائق المشحونة لكل منهما كتلة ســكون مقدارها m_e فينتج من تطبيق قاعدة حفظ الطاقة إن $h\nu$ يمكن كتابتها كما يلي :-

$$h\nu = 2m_e c^2 + E_1 + E_2$$

حيث $m_e c^2$ طاقة كتلة السكون لكل من الدقيقتين و E_1 ، E_2 هما الطاقتان الحركيتان الدقيقتين في لحظـــة تكونهما .

ان وجود نواة ثقيلـــة ضروري في عملية توليـــد الأزواج .

وان معامل الامتصاص الجزئي K يبدأ من الصفر عندما

$$h\nu \leq 1.02\ m_e$$

وعندما تكون طاقة $h\nu$ قريبة من 1Mev فان معامل الامتصاص الجزئي K يمكن التعبيرعنه بالمعادلة الاتية:

$$K = N\ Z^2\ (h\nu - 2mc^2)$$

وعند الطاقات العالية جداً لاشعـــة كاما فان K يمكن التعبير عنها بالمعادلة الاتية:

$$K = NZ^2\ \ln h\nu$$

الفصل الثالث

الأنشطار النووي

Nuclear Fission ***********

(٣-١) اكتشاف الانشطار النووي :

كان اكتشاف الانشطار النووي احد نتائج محاولة عمل عناصر مابعد اليورانيوم التي عددها الـذري اكثر من (٩٢) بواسطة تفاعلات (n, γ) وتتبع بتحلل - بيتا النويات الناتجة .
وان اولى التجارب لانتاج عناصر مابعد اليورانيوم بدأها فرمي ومساعدوه في سنة ١٩٣٤ وذلك بقصف اليورانيوم بالنيوترونات وقد وجدوا نتيجة لهذا القصف اربع نشاطات لأشعة بيتا بانصاف اعمار مختلفة . وافترض ان هذه الاربع نشاطات لاشعة بيتا تعود الى نشاطات نظائر الراديوم بسبب ترسبها مع الباريوم عندما يستخدم الباريوم كحامل (Carrier)
وان نواتج تحلل هذه النويات يظهر بانها نظائر الاكتينيوم (Actinium) بسبب ترسبها مع اللانثانوم (Lanthanum) الذي هو حامل للاكتينيوم وان هذه النتائج تظهر مناسبة بسبب ان الاكتينيوم يأتي بعد الراديوم في الجدول الدوري ، ولكن برهنت التجارب الكيميائية فيما بعد ان الراديوم النشط اشعاعيا لايمكن فصله من حامل الباريوم وان النواتج النشطة اي الاكتينيوم لايمكن فصلها من حامل اللانثانوم . وفي سنة ١٩٣٩ هان Hann وستراسمان Strassman برهنا بدون شك ان نظائر الراديوم النشطة اشعاعيا هي في الحقيقة نظائر الباريوم ، وان نظائر الاكتينيوم هي نظائر اللانثانوم ، ويتضح ان اللانثانوم قد تكون من تحلل - بيتا للباريوم ، ونتيجة لهذا البرهان اقترح هان وستراسمان ان نواة اليورانيوم تنشطر الى نواتين ذات كتلتين ذريتين متوسطتين فاذا كانت احدى النواتين المتكونتين نواة الباريوم (Z= 56) فان الاخرى لابد ان تكون نواة الكربتون (Z =36) ، وتدعى هذه العملية ، التي تنشطر فيها نواة ثقيلة الى نواتين متقاربتين في الكتلة بالانشطار النووي (Nuclear Fission) .

وقد واصل العلماء دراسة هذا النوع الجديد من التفاعلات النووية في المعامل وفي جميع انحاء العالم وما ان انقضى عام واحد حتى كانت بضع مئات من البحوث عن الانشطار قد نشرت .

(٣- ٢) البنية النووية ونظرية الانشطار النووي :

للنواة عمليات كثيرة منها الطبيعية والاصطناعية مثل انبعاث جسيمات الفا وبيتا وانبعاث اشعة كاما وانشطار النويات وتكون عناصر مابعد اليورانيوم . ولفهم هذه العمليات التي تجري في النويات لابد من فرض نموذج نووي يفسر هذه العمليات وقد فرضت نماذج مختلفة ولكنها

لاتفي بالغرض بتمامه فان كل نموذج يعطي حلاً لجانب معين من العمليات النووية ومن النماذج المهمة :-

١- نموذج قطرة السائل الذى يستفاد منه في فهم عمليات الانشطار .
٢- النموذج الطبقي للنواة Shell model
٣- نموذج غاز-فرمي

بما ان النموذج الأول له علاقة بالانشطار النووي فانا نتكلم عنه ونترك باقي النماذج .

نموذج قطرة السائل:

قبل البدء بالكلام عن نموذج قطرة السائل فلابد ان نتكلم عن القوى الموجودة في النواة ، فان في النواة نوعين من القوى يسببان استقرار اوعدم استقرار النواة ، النوع الأول قوى التنافر الكهربائية والنوع الثاني قوى الجذب النووية .

١- قوى التنافر الكهربائية وهي ناتجة من تبادل قوى التنافر بين البروتونات الموجودة في النواة وان قيمة الطاقة الكهربائية الكولومبية بين بروتونين تكتسب كما يلي :

$$E = \frac{e^2}{r}$$

حيث e شحنة البروتون و r المسافة بين البروتونين ، وبما ان المسافة بين البروتونين من الممكن ان تأخذ القيمة الآتية : $(r = 3 \times 10^{-13}$ cm $)$

اذن قيمة الطاقة التنافرية الكهربائية بوحدات مليون الكترون فولت :

$$E = \frac{(4.8 \times 10^{-10})^2}{3 \times 10^{-13}\ (1.6 \times 10^{-6})} \simeq 0.5 \text{ Mev} \qquad \cdots (١-٣)$$

يتضح من المعادلة (٣-١) ان الطاقة الكهربائية بين بروتونين تساوي ٥ر٠ م أ ٠ف ومقارنتها بمعدل طاقة الربط للنيوكلون الواحد في النواة والذى يساوي ٨ م أ ٠ف نستنتج ان الطاقة الكهربائية التنافرية صغيرة بالنسبة لقوى الجذب النووية .

وبالرغم من صغر الطاقة الكهربائية التنافرية بالنسبة الى القوى النووية لكنها تصبح لها اهمية في النويات الثقيلة بسبب ان البروتون يتفاعل مع جميع البروتونات الموجودة في النواة ، وبذلك نستطيع ان نكتب مجموع الطاقة الكهربائية التنافرية كمايلي :-

(٣-٢)

$$\text{Total electric energy} \propto \frac{Z\,(Z-1)}{d_{p \rightarrow p}}$$

وبما أن قطر النواة يتناسب مع $A^{\frac{1}{3}}$ ، وبما ان نصف قطر النواة هو مجموع المسافات بين النيوكلونات الداخلية اذن :

(٣ـ٣)

$$d_{p \to p} \propto A^{\frac{1}{3}}$$

عندما تكون Z كبيرة يمكننا ان نقرب مايلي :

(٣ـ٤)

$$Z^2 - Z \simeq Z^2$$

وبتعويض المعادلتين (٣ـ٣) و (٣ـ٤) في المعادلة (٣ـ٢) ينتج مايلي :

(٣ـ٥)

$$\text{Total electric energy} \propto \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}}$$

ان قوة التنافر الكهربائية تحاول تكبير حجم النواة وبالتالي شطرها ، ولكن يوجد مقابل هذه القوة القوى النوويه التي تحاول أن تجعل النواة بأصغر حجم ممكن .

٢ـ قوى الجذب النووية : من خواص القوة النووية أنها قصيرة المدى ومعنى هذا ان النيوكلون يتفاعل فقط مع النيوكلونات المجاورة له ، وبما ان النيوكلون على سطح النواة لايحاط من جميع الجهات بنيوكلونات ، بينما النيوكلون في داخل النواة يحاط من جميع الجهات بنيوكلونات ، وبناء" على ذلك ان النيوكلونات على سطح النواة لا تعاني قوة كما يعاني النيوكلون في داخل النواة ، ولكي يعاني النيوكلون على سطح النواة اكبر قوة نووية ممكنة فلابد ان تأخذ النواة اصغر مساحة ممكنة ، وهذا يشابه الى حد كبير قوة التوتر السطحي السائل ، وبما ان قوة التوتر السطحي السائل تميل الى سحب السائل الى شكل له اصغر مساحة ممكنة وهو السطح الكروي ، اذن مقدارها يتناسب مع مربع نصف قطر كرة سطح السائل المتوتر . وبسبب التشابه الموجود بين قوة التوتر السطحي وقوة الجذب النووية كذلك نستنتج ان قوة الجذب النووية تتناسب مع مربع نصف قطر النواة وبما ان نصف قطر النواة R يتناسب مع $A^{\frac{1}{3}}$ اذن :

(٣ـ٦)

$$R^2 \propto A^{\frac{2}{3}}$$

وباستخدام المعادلة (٣ـ٦) نستطيع ان نكتب طاقة الجذب النووية كما يلي :ـ

$$\text{Nuclear attractive energy} \propto A^{\frac{2}{3}}$$

ان النسبة بين الطاقة الكهربائية التنافرية والطاقة النووية تقيس لنا نسبة عدم الاستقرار في النواة :

(٣ـ٧)

$$\text{instability} \propto \frac{Z^2/A^{1/3}}{A^{2/3}} \simeq \frac{Z^2}{A}$$

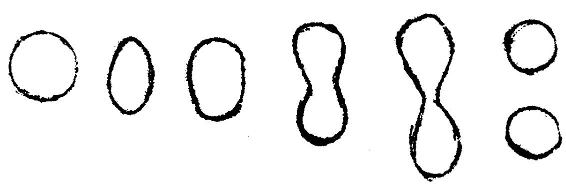
وقد يتضح من المعادلة (٣-٧) مع زيادة العدد الكتلـي للنواة يزداد عدم الاستقرار فيها ، بسبب ان زيادة Z^2 اكبر من زيادة A

يظهر من الشكل (١-٣) ان النويات التي لها عدد كتلي A اكبر من (٦٠) تكون عديمة الاستقرار ، وهذا يعني ان القوة الكهربائية التنافرية في هذه النويات اكبر من القوة النووية الجاذبة .

انتهينا من الكلام عن القوى في النواة وسنتكلم الان عن كيفية حدوث الانشطار في النواة . .

في سنة ١٩٣٩ بعد اكتشاف الانشطار النووي بفترة قليلة ، قدم بور العالم الدانماركي و ولر J.A. wheeler العالم الامريكي توضيحاً عن الانشطار النووي مستندين على التشابه الموجود بين النواة وقطرة السائل الصغيرة . وملخص فكرتهما :

ان النواة طبقاً لنظرية بور وويلر ، سلوكها يشبه لبعض الشيء قطرة سائل صغيرة غير قابلة للانضغاط . عندما تعطى النواة طاقة خارجية وذلك بأسر نيوترون فان هذه الطاقة تسبب تشوهاً في شكلها بان تبعدها عن الشكل الكروي ، وذلك بسبب الطاقة الحركية للجسيمات في النواة ، وبناءً على ذلك فان النواة يتأرجح شكلها بين الكروي وغير الكروي . واذا استلمت النواة طاقة كبيرة فان النواة يتشوه شكلها جداً بحيث ان طاقة التوتر السطحي للنواة لاتتمكن من ارجاع النواة الى شكلها الكروي اي الطبيعي . في مثل هذه الحالة النواة تنقسم الى شطرين ويعني ذلك ان النواة قد عانت انشطاراً ، وفي الشكل (٣-١) يرينا تتابع الاهتزاز الذي يؤدي بدوره الى انشطار النواة .



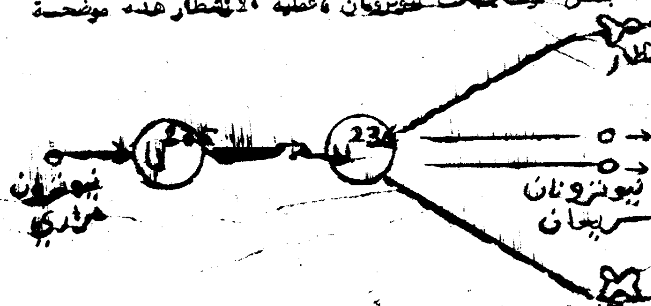
شكل (٣-١)
اهتزاز نموذج قطرة السائل
الذي يؤدي الى الانشطار .

٣-٣) : نواتج انشطار اليورانيوم :

في الطبيعة ثلاثة نظائر لليورانيوم لها الكتل والوفر النسبة الاتية:

$$_{92}U^{238}\ (99.28\ \%)\ ,\ _{92}U^{235}\ (0.71\ \%)\ ,\ U^{234}\ (0.005\ \%)\ .$$

وقد ثبت نظريا" وتجريبيا" ان U^{235} هو الذي يعاني انشطارا عندما يأسر نيوترون حراري حيث تتكون اولا" نواة U^{236} لكنها غير مستقرة وتنشطر بعد زمن قصير جدا" الى نواتين متوسطتين متقاربتين في الكتلة وكذلك بنفس الوقت ينبعث نيوترونان ، عملية الانشطار هذه موضحة في الشكل (٣-٢)



شكل (٣-٢)
عملية انشطار نواة اليورانيوم (٢٣٥) عند أسرها نيوترون حراري

لقد اكتشف ان الانشطار يحدث على اقل تقدير بثلاثين نموذجا" مختلفا" ، وفي كل نموذج تتكون نواتين مختلفتين عن النواتين في النماذج الاخرى . فقد شوهد في نواتج انشطار U^{235} عندما يأسر نيوترون حراري ان مدى الاعداد الكتلية للنويات تكون من ٧٢ الى ١٥٨ ، وان نموذج الانشطار الاكثر احتمالا" يكون فيه العدد الكتلي لأحد الشظيتين ٩٥ والعدد الكتلي للشظية الاخرى ١٣٩ ، وكذلك ينبعث نيوترونان اثنان ، وان نموذج الانشطار الاقل احتمالا" يكون عند انتاج شظيتين متساويتين في الكتلة . وان شظايا الانشطار تكون مشعة وتعاني سلسلة تحلل تصل في النهاية الى حالة الاستقرار بعد سلسلة اشعاعية ، وسبب هذا الاشعاع هو ان نسبة عدد النيوترونات الى عدد البروتونات اي $\frac{N}{Z}$ ، في اليورانيوم هي ٦ر١ بينما تتراوح القيمة القصوى لهذه النسبة للعناصر المستقرة ، التي يتراوح عددها الذري بين (٣٠) ، (٦٣) ، بين ٣ر١ ، ٥ر١ ولذا فان شظايا الانشطار تحتوي على فضلة من النيوترونات ، ولكي تتخلص من هذه الزيادة من النيوترونات فلابد ان تقلل من عدد النيوترونات ، وهناك طريقتان لتقليل عدد النيوترونات اما بتحلل - بيتا أو بعث واحد او اكثر من النيوترونات الفائضة وتسمى هذه النيوترونات المنبعثة بعد عملية الانشطار بزمن يمكن قياسه بالنيوترونات المؤخرة(delayed neutrous) وهي تلعب دورا" هاما" في السيطرة على المفاعلات النووية .

وقد جرى تتبع سلسلة تحلل - بيتا المؤدي الى نواة مستقرة لعدد كبير من نواتج الانشطار ، فمثلا" الباريوم (١٤١) وهو احد نواتج انشطار اليورانيوم غير مستقر لوجود فضلة مقدارها ٣ نيوترونات فيه . ولهذا تصبح سلسلة تحلل - بيتا للباريوم (١٤١) كما يلي :

$$ {}^{141}_{56}Ba \xrightarrow[18\ min.]{e^-} {}^{141}_{57}La \xrightarrow[3.7\ hr]{e^-} {}^{141}_{58}Ce \xrightarrow[28\ da.]{e^-} {}^{141}_{59}Pr $$

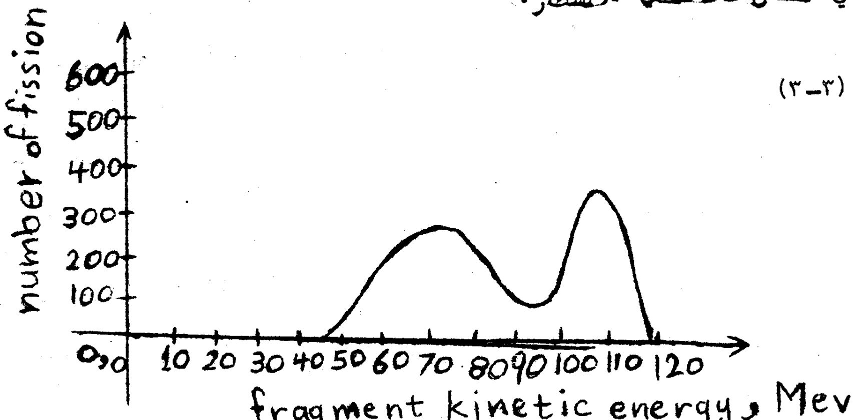
والناتج النهائي لهذه السلسلة هو نظير مستقر للبراسيوديميوم Pr، وبنفس الطريقة فان الكريبتون (٩٢) غير مستقر ويبدأ في سلسلة تحلل بيتا تنتهي بنظير مستقر للزركونيوم :

$$^{92}_{36}Kr \xrightarrow{e^-} {}^{92}_{37}Rb \xrightarrow{e^-} {}^{92}_{38}Sr \xrightarrow{e^-} {}^{92}_{39}Y \xrightarrow{e^-} {}^{92}_{40}Zr$$

ومن الكلام الانف الذكر نخلص الى ان نواتج الانشطار هي نويات متوسطة الكتلة ونيوترونات آنية او مؤخرة، وانبعاث اشعة كاما وجسيمات بيتا .

(٣ـ٤) توزيع الكتل والطاقات لنواتج الانشطار :

لقد جرى قياس الطاقة الحركية لشظايا الانشطار، وكذلك توزيع هذه الطاقة على الشظايا فقد حصل على منحنى كما هو واضح في الشكل (٣ـ٣) للشظايا الناتجة عن انشطار اليورانيوم (٢٣٥) بالنيوترونات البطيئة ، ان المحور العمودي في الشكل يمثل عدد الانشطارات بينما المحور الافقي يمثل طاقة شظايا الانشطار .



شكل (٣ـ٣)

نلاحظ في المنحني بوضوح ان طاقة انشطار الشظية الاولى E_1 غالباً ما تختلف عن طاقة انشطار الشظية الثانية E_2، اى ان نواة U^{235} تنشطر في اغلب الاحيان الى نواتين غير متساويتين واما احتمال انشطارها الى نواتين متساويتين فهو اقل ما يمكن لاننا نلاحظ في الشكل (٣ـ٣) ان عدد الانشطارات التي تحدث بها شظيتين متساويتين في الطاقة أى $E_1 = E_2$ هو اقل مايمكن وبتطبيق القانون الاتي الذى نستنتجه من قانون

حفظ الزخم والطاقة:

(٣-٨)

نحصل على أن :

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{E_2}{E_1}$$

$$M_1 = M_2$$

ويمكن ان نستعمل الشكل (٣-٣) والمعادلة (٣-٨) لتحقيق كتلة كل من الشظيتين ذات الاحتمال الكبير لنواتج الانشطار بما ان طاقة الشظية الاولى الاكثر احتمالاً تساوي (٧٥) مليون الكترون فولت وان طاقة الشظية الثانية الاكثر احتمالاً تساوي (١٠٥) مليون الكترون فولت وتعويض هذه القيم في المعادلة (٣-٨) نحصل على مايلي :

(٣-٩)

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{105}{75}$$

واذا افترضنا بان معدل فقدان النيوترونات في عملية الانشطار يساوي نيوترونين ، اذن:

$$M_1 + M_2 = 234 \quad (\text{for } ^{235}U + n \text{ fission})$$

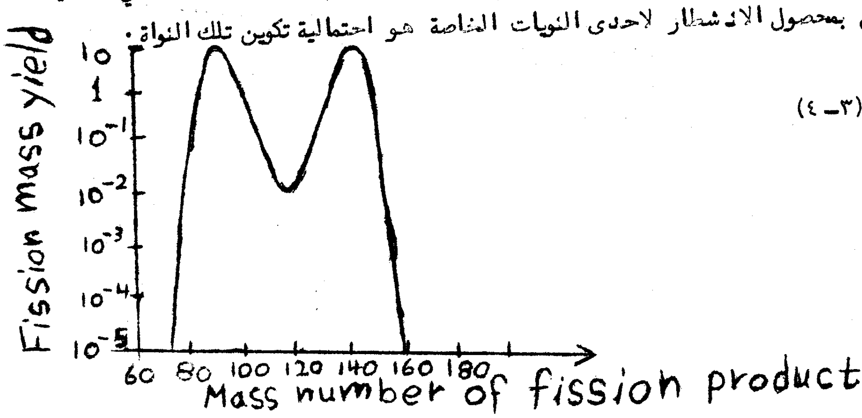
الآن حصلنا على معادلتين مع مجهولين ، بحلهما نحصل على M_1 ، M_2

$$\frac{M_2}{M_1} = 0.7$$

$$M_2 = 0.7\ M_1$$

$$M_1 + 0.7\ M_1 = 234 \qquad M_2 = 97, \quad M_1 = 137$$

اما ما يخص توزيع الكتل لنواتج انشطار اليورانيوم (٢٣٥) ، فقد رسم منحنى كما هو في الشكل (٣-٤) حيث يبين محصول الانشطار (بالنسبة المئوية) بدلالة العدد الكتلي لشظية الانشطار. ونعني بمحصول الانشطار لاحدى النويات الخاصة هو احتمالية تكوين تلك النواة.



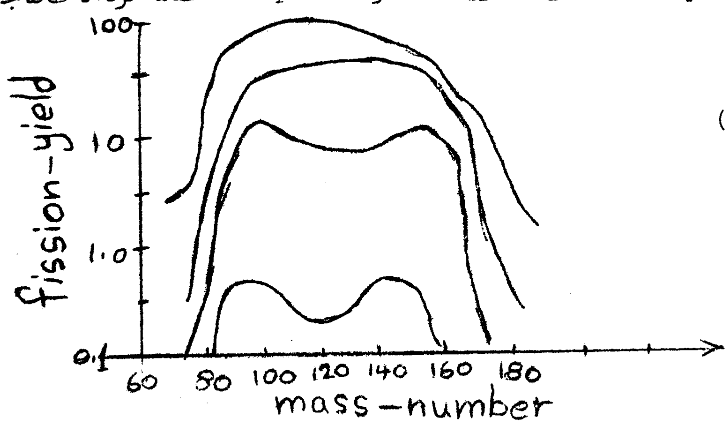
شكل (٣-٤)

ويظهر من هذا الشكل ان هناك قمتان تمثلان الاكثر احتمالا" العدد الكتلي لشظيتي الانشطار هي حوالي ٩٥ ، ١٣٩ وذلك عندما ينبعث في نفس الوقت نيوترونين آنيين • ويلاحظ كذلك ان محصول الانشطار يصبح اقل مايمكن عند العدد الكتلي ١١٧ ، ويقابل ذلك انتاج شظيتين متساويتين في الكتلة، وينخفض منحنى محصول الانشطار بسرعة عند العدديين الكتليين ٧٢ ، ١٦٢ •

(٣-٥) الانشطار المتجانس وغير المتجانس :

اكتشف ان الانشطار يحدث بطريقتين مختلفتين :

١- الانشطار المتجانس: ويعنى به ان النواة المنشطرة تنشطر الى نواتين متساويتين في الكتلة ، ويزداد احتمال مثل هذا الانشطار عند زيادة طاقة النيوترونات المقذوفة او المقذوفات الاخرى • واذا اصبحت طاقة النيوترونات المقذوفة او المقذوفات الاخرى عالية جدا" يكون فيها منحى محصول الانشطار له قمة واحدة فقط بين (A = 97 , A= 137) كما هو موضح في الشكل(٣-٥) حيث يريناً التغير في شكل منحنى محصول الانشطار ل Np^{237} عندما تزداد طاقة جسيمات الفا المقذوفة •



شكل(٣-٥)

٢- الانشطار غير المتجانس: ويعنى به ان النواة تنشطر الى نواتين غير متساويتين في الكتلة وتزداد احتمالية حدوثة عندما تقل طاقة النيوترونات المقذوفة او المقذوفات الاخرى •

(٣-٦) الطاقة المنطلقة في عملية الانشطار :

من الخواص المدهشة والمهمة جدا" في عملية الانشطار هي كمية الطاقة المنطلقة والتي تساوي (٢٠٠) مليون الكترون فولت لكل عملية انشطار واحدة ، عندما تقارن بباقي التفاعلات النووية التي

تنطلـــق منها طاقة مقدارهـا بضعـة مليون الكترون فولت وتبعث اكثـــر دهشة عندما تقارن بالطاقة المنطلقـــة في التفاعلات الكيمياوية والتي تساوي واحد الكترون فولت .

يحسب مجموع الطاقة المنطلقة لكل عمليـة انشطار واحدة من فـــرق الكتل الذرية بين الكتل الذرية الاولية والناتجـــة ويضـرب هذا الفرق بـ ٩٣١ يكون الناتج بالمليون الكترون فولت.

مثال : احســب الطاقة المنطلقة في عملية الانشطار الموضحـة في المعادلة الاتية :

$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{56}Ba^{139} + {}_{39}Kr^{95} + 2\,{}_{0}n^{1} + Q$$

اذا كان

$M_{u}^{235} = 235.124$ amu

$M_{n} = 1.009$ amu

$M_{kr}^{95} = 95.946$ amu

$M_{Ba}^{139} = 138.955$ amu

الحـــل:

نحسب اولاً الفرق بين الكـتل الذرية (ΔM)

اذن

$$\Delta M = (M_{u}^{253} + M_{n}) - (M_{kr}^{95} + M_{Ba}^{139} + 2\,M_{n})$$

$$\Delta M = (235.124 + 1.009) - (95.946 + 138.955 + 2 \times 1.009)$$

$$\Delta M = 0.215 \text{ amu}$$

اذن الطاقة المنطلقة Q

$$Q = 0.215 \times 931 = 198 \text{ Mev}$$

وان هذه الطاقة المنطلقـــة تظهر كطاقـــة حركـــية لنواتج الانشطار والنيوترونات وكذلك كطاقـــة اشعـــة كاما وكطاقة حركية لجسيمات بيتا .

(٣-٧) القدرة النووية :

ان انطلاق كمـــية كبيرة من الطاقة سـوية مع انبعاث اكثـر من نيوترون واحـد في عمليـــة الانشطار جعـــل من الممكـــن استعمال عملية الانشطار كمصـدر للطاقة ،وانبعاث ٥ر٢ نيوترون في المعدل المتوسط لكل عمليـــة انشطار لنواة U^{235} ، يسمح بحدوث تفاعل متسلسل تكون فيه هذه النيوترونات تنتج انشطارات اكثـــر ونيوترونات اكثر وهكذا يستمر الحال في زيادة عدد الانشطـــارات وعدد النيوترونات مالم نسيطر عليها .

تحت بعض الشروط ، تزداد عدد الانشطارات والنيوترونات ازديادا" أسيا" مع الزمن بسبب ان كل انشطار ينتج نيوترونات اكثر من النيوترونات الممتصة . واذا كانت الفترة الزمنية بين انشطارين متتابعين متولدين تساوي جزءا" صغيرا" جدا" من الثانية فان الطاقة المنطلقة عند التفاعل المتسلسل يمكن ان تأخذ هيئة انفجار هائل ، اي ان النتيجة تكون قنبلة ذرية Atomic bomb

وتحت شروط اخرى يمكن السيطرة على التفاعل المتسلسل وذلك بالحصول على حالة تكون فيها عدد النيوترونات الناتجة في وحدة الزمن مساوية الى عدد النيوترونات المستهلكة ، ويسمى الجهاز الذي يحفظ التفاعل المتسلسل في مثل هذه الشروط بالمفاعل النووي الذي يمكن استعماله كمصدر للنيوترونات والطاقة .

المفاعل النووي :

ان انجاز التفاعل المتسلسل في اليورانيوم يعتمد على التوازن الذي يحصل بين العمليات الاربعة المتنافسة الاتية:

١- انشطار نواة اليورانيوم مع انبعاث نيوترونات اكثر من المأسورة .
٢- عدم انشطار نويات اليورانيوم المأسورة النيوترونات .
٣- عدم انشطار نويات النظائر الاخرى المأسورة للنيوترونات .
٤- هروب النيوترونات من الجهاز بدون اسرها .

واذا كان فقدان عدد النيوترونات للعمليات الثلاث الاخيرة اقل او يساوي الى فضلة زيادة عدد النيوترونات بواسطة العملية الاولى فان التفاعل المتسلسل يحدث وفي حالة العكس لايحدث .

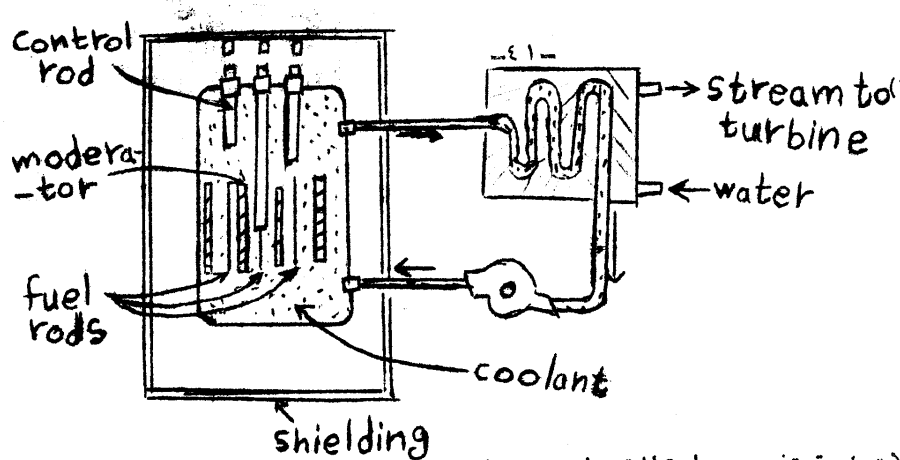
مثال عددي :

اذا كان ١٠٠ نيوترون حراري اسرت من قبل نويات اليورانيوم ، وبعد ان انشطرت اصبح عدد النيوترونات (٢٥٠) ، فان عدد النيوترونات الزائدة ١٥٠ ، فاذا كان فقدان عدد النيوترونات للعمليات الثلاث الاخيرة اقل او يساوي ١٥٠ نيوترون فان التفاعل المتسلسل يحدث واذا كان مقدار الفقدان اكثر من ١٥٠ نيوترون فان التفاعل المتسلسل لايحدث .

بما ان النيوترون البطيء أكفأ بكثير من النيوترون السريع ، في احداث الانشطار والنيوترونات المتحررة من الانشطار نيوترونات سريعة . وعلى ذلك تقابلنا مشكلة اذا اردنا تنشيط التفاعل المتسلسل وهي ابطاء النيوترونات المتحررة في الانشطار لزيادة فعاليتها ، وفي الحالة التي تستخدم

فيها كتلة كبيرة من اليورانيوم تتم عملية الابطاء حتما" عن طريق التصادم بنويات اليورانيوم الثقيلة وهذه وسيلة عديمة الجدوى في خفض الطاقة . ولكن اذا استخدمنا نويات خفيفة مثل نويات الهيدروجين لابطاء النيوترونات فتكون وسيلة جيدة في خفض الطاقة وذلك اذا كان التصادم مرنا" مباشرا" انتقلت كمية تحرك النيوترون باجمعها الى البروتون ، وبما ان الزاوية الاكبر احتمالا" التصادم المرن بين جسمين متساويين في الكتلة هي ٤٥° ، ويعطي النيوترون عند هذه نصف طاقته للبروتون . فاذا ما عانى النيوترون عشرة تصادمات ، من هذه التصادمات الاكبر احتمالا" ، انخفضت طاقته بالنسبة $(\frac{١}{٢})^{١٠}$ أو $\frac{١}{١٠٢٤}$ وتصبح هذه النسبة حوالي $\frac{١}{١٠٠٠٠٠٠}$ اذا ما ازداد عدد التصادمات الى (٢٠) تصادما" . وعلى ذلك يلزم النيوترون الذي طاقته ٢ م.أ.ف ان يعمل حوالي (٢٠) تصادما" الاكبر احتمالا" بنواة الهيدروجين لتنخفض طاقته الى الكترون فولت واحد . وعلى الرغم من ان الهيدروجين يبطئ النيوترونات بسهولة ولكنه يمتصها بسهولة ايضا" في التفاعل النووي $H(n,\gamma)D$ وعلى ذلك فهو لايصلح كمهدئ . والعنصران اللذان يثبت انهما انسب العناصر في التهدئة هما الديوتيريوم $_{1}D^{2}$ والكربون الذي يشيع استخدامه في هذه المهمة على انه يجب ان يكون نقيا" حتى نتجنب امتصاص النيوترونات في الشوائب .

وتتم السيطرة على التفاعل المتسلسل باستخدام مواد لها قابلية على امتصاص النيوترونات بسرعة . ان مادة الوقود في المفاعل النووي هي اليورانيوم الذي يدخل بين اعمدة السيطرة وهي تصنع عادة من الكادميوم بسبب قابليته الكبيرة في امتصاص النيوترونات . وبادخال او سحب اعمدة السيطرة يمكن جعل عدد النيوترونات الموجودة في اي لحظة ومن ثم معدل عدد الانشطارات ثابتة . ولكي تمنع الانفجارات الصغيرة او انصهار مادة الوقود كنتيجة لتجمع طاقة الانشطار فان مادة الوقود تبرد بواسطة تيار من الماء او الغاز . وعادة يستعمل الماء الاعتيادي او الماء الثقيل كمادة مبردة في عدة مفاعلات نووية . ومن المفيد جدا" كذلك ان تستخدم المادة المبردة كوسط ناقل للحرارة ، وبذلك يمكن نقل طاقة الانشطار الى جهاز يمكن فيه تحويل هذه الطاقة الى طاقة كهربائية كما هو موضح في الشكل(٣-٦)



شكل (٣-٦)

في عدة مفاعلات نووية تغمـــر مادة الوقود واعمـــدة السيطرة في وعاء المفاعل بينما تيار الماء او الماء الثقيل يستخدمان كلاهما في التبريـــد والتهدئة . ولكي تعكس معظم النيوترونات التي تهـــرب من وعاء المفاعل وارجاعها اليه ، وبذلك يزيـــد من الاقتصاد في النيوترونات ، فان وعاء المفاعـــل يحاط بمادة عاكسه ، وعادة تكون هذه المادة من البريليوم ، يجب احاطة وعاء المفاعل بطبقة سميكـــة من مادة لها كفاءة عالية في امتصاص اي نيوترونات واشعـــة كاما المنبعثـــة من تفاعل الانشطـــار للمحافظة على الاشخاص العاملين في المفاعـــل . وعادة تستخدم مادة الكونكريت في هذا المجال .

الفصل الرابع

التفاعل النووى

* NUCLEAR REACTION
****

(٤-١) المقدمـــة :

دراسة التفاعل النووي مهمة وذلك لعدة اسباب منها :

١- لتغيير احدى النويات الى نواة اخرى .

٢- تجهزنا بمعلومات تعتبر مفتاحا لحل مسألة تركيب النواة ، وتختبر الافكار الاساسية للقوى النووية

٣- تعطي معلومات حول مستويات الطاقة وطريقة التحلل .

ويحدث التفاعل النووي عندما تتصادم النويات فيما بينها ، فاذا اسقطت النواة I ذات العدد النووي Z_1 والعدد الكتلي A_1 على هدف نواة T فأن النواتين I و T تتفاعلان فيما بينهما عن طريق القوى النووية وتنتج نواتان جديدتان O , P ويكتب التفاعل بالرموز كمايلي :-

$$T + I \longrightarrow O + P \qquad \cdots\cdots (٤-١)$$

او بصورة اكثر اختصارا

$$T \; (I, O) \; P$$

وعادة تكون I , O نويتين خفيفتين ، مثل النيوترونات او البروتونات او جسيمات ... بينما T, P تكونان نويتين متوسطتين اوثقيلتين .

ان التفاعل النووي الذي ذكرناه آنفا بين T, I ناتجه لايكون نوعا واحدا فقط بل عدة انواع يمكن تمثيلها بالمعادلات الاتية :-

$$T + I \longrightarrow \begin{cases} T + I \\ T^* + I \\ Y + y \\ Z + z \\ \text{ect} \end{cases} \qquad \cdots\cdots (٤-٢)$$

في اول معادلتين من مجموعة المعادلات (٤-٢) الجسيمة الساقطة هي من نفس نوع الجسيمة الخارجة ولذلك تدعى العملية بالتشتت (SCattering)

ان التفاعل الاول ينوب عن تشتت مرن (elastic seattering) تكون فيه الطاقة الحركية الكلية للجهاز (الجسيمة الساقطة ، ونوية الهدف والجسيمة الناتجة والنوية الناتجة) ثابتة اى ان الطاقة الحركية قبل التصادم تساوى الطاقة الحركية بعد التصادم .

التفاعل الثاني ينوب عن تشتت غير مرن ((inelastic scattering)) وفيه ترتفع نواة الهدف T الى حالة تهيج T^* تقل الطاقة الحركية للجهاز بمقدار الطاقة التي تعطى الى نواة الهدف .

اما التفاعلات النووية الباقية من المجموعة فهي تنوب عن مختلف احتمالات التحول النووي .

(٤ـ١) المقطع العرضي النووى :

النواة التي لها نصف قطر R يكون لها هدف بارز مساحته تساوى πR^2 امام الجسيمات الساقطة • وان احتمالية اصطدام الجسيمات الساقطة بالنويات تتناسب طرديا مع مساحة هذا الهدف • وهو بالطبع يساوى مساحة مقطع النواة •

واذا تصادمت جسيمة مع احدى النويات فأنه يحدث عدة انواع من التحولات النووية مثلا : اذا تصادم الديوترون D^2 من نواة Th^{232} تنتج التفاعلات الاتية :ـ

$Th(D,n)Pa^{233}$,, $Th(D,2n)Pa^{232}$, $Th^{232}(D,3n)Pa^{231}$, $Th^{232}(D,P)Th^{233}$

$Th(D, 2He^4)Pa^{234}$

ولهذا من الممكن ان نتصور مجموع المقطع العرضي لنواة Th^{232} مجزءا الى عدة مساحات طبقا الى كل من هذه التفاعلات المختلفة • بحيث يكون لكل تفاعل مساحة محددة تتناسب مع الاحتمالية لذلك التفاعل الخاص الذى سيحدث عندما يصطدم الديوترون D^2 ذو الطاقة ٢٤م أ •ف بنواة Th^{232} وهكذا اذا كان مجموع المقطع العرضي لنواة Th^{232} (٢) بارن بارن (وحدة قياس مساحة المقطع العرضي النووى وكل ابارن = ١٠ $^{-24}$ سم^2) وان المقطع العرضي للتفاعل $Th(D,He^4)Pa^{234}$ (١) ملي بارن • اذن لكل (٢٠٠٠) ديوترون التي تصطدم بنواة Th ديوترون واحد سيؤدى الى التفاعل Pa^{234} هذه التجزئة للمقطع العرضي كانت بالطبع من خيالات الرياضيات

عندما تكون طاقة الجسيمة الساقطة صغيرة فان طول موجة دى بروكلي $\lambda = \frac{h}{P}$ لها تكون اكبر من نصف قطر نواة الهدف • اذن الطول الموجي للجسيمة الساقطة يكون اكثر مقربا لاحتمالية التفاعل من المقطع العرضي لنواة الهدف •

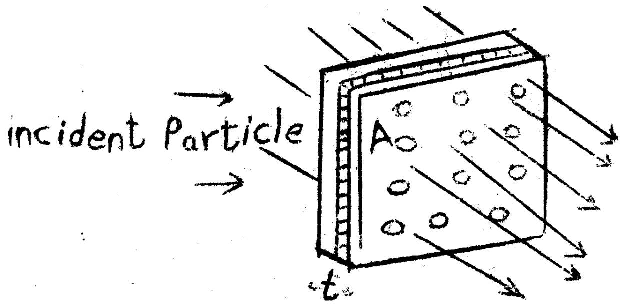
ويمكن التعبير عن المقطع العرضي رياضيا كمايلي :ـ

اذا كانت النواة عبارة عن كرة نصف قطرها R cm والجسيمات الساقطة عبارة عن نقط منذوفة • فان مساحة الهدف (المقطع العرضي) σ لكل نواة يعطي بالمعادلة الاتية :ـ

$$\sigma = \pi R^2 \ cm^2 \qquad (٤ـ٢)$$

ان الجسيمة التي تمر عموديا خلال صفيحة مادية رقيقة ذات مساحة A تحتوى على N_T من النويات تكون لها احتمالية $\frac{N_T \sigma}{A}$ للتصادم مع النويات • وان الكمية $\frac{N_T}{A}$ تعبر

عن عدد النويات لكل سنتيمتر مربع واحد او الكثافة السطحية للنويات البالغ عددها Nt حيث N عدد النويات لكل سنتيمتر مكعب واحد و (t) سمك الصفيحة المادية .



شكل (٤ـ١)
فكرة المقطع العرضي

وبالنسبة لحزمة الجسيمات الساقطة تحتوي على (n) جسيمة لكل سنتيمتر مكعب واحــــــد وتتحرك بسرعة (V) ، اذن عدد الجسيمات المارة خلال الصفيحة لكل سنتيمتر مربع واحــــــد وفي الثانية الواحدة يساوي (nV) اذن من الممكن كتابة معدل التصادم كمايلي :ـ

$$\text{collision-per square centimeter per second} = nV\sigma Nt$$

اذن المقطع التصادم العرضي :ـ

$$\sigma = \frac{\text{collision-per square cetimeter per sec.}}{nVNt} \qquad (٤-٤)$$

(٤ـ٣) نظرية النواة المركبـــة :

اقترح بور في سنة ١٩٣٦ نظرية النواة المركبة التي تنص على ان التفاعل النووي يحدث بمرحلتين :ـ

١ـ الجسيمة الساقطة تمتص من قبل نواة الهدف لتكوين نواة مركبة .

٢ـ النواة المركبة المتكونة تتحلل بواسطة قذف جسيمة خارج النواة مثل (نيوترون الفا ...) او ابعاث اشعة كاما ، تاركة نواة جديدة .

مرحلتا التفاعل يمكن ان تعتبرهما عمليتين منفصلتين كمايلي :ـ

١ـ جسيمة ساقطة + نواة هدف ⟵ نواة مركبــة

٢ـ النواة المركبة ⟵ نواة ناتجة + جسيمة خارجــة

ونتيجة لامتصاص نواة الهدف الجسيمة الساقطة فأن نواة الهدف تتهيج بطاقة تهيجيــــة مقدارها يساوي الطاقة الحركية للجسيمة الساقطة مع الطاقة الرابطة للجسيمة الساقطة .

[illegible]
من الطاقة الرابطة [illegible] .

وان هذه الطاقة التهيجية تتوزع بسرعة على جسيمات النواة المركبة ، والتوزيع [illegible] ان يحدث بطريقة عشوائية ، واذا صادف في هذا التوزيع ان حصلت احدى النيوكليونات طاقة حركية اكبر من طاقة ربطها النووى في هذه الحالة النيوكلون يترك النواة الى خارجها وهذا مايشابه حد ما تبخر الجزيئات من سطح السائل ، وان ترك النيوكلون للنواة يقلل من الطاقة التهيجية للنواة بمقدار ا يساوى الطاقة الرابطة والطاقة الحركية للنيوكلون المنطلق وترك النيوكلونات للنواة يستمر حتى الطاقة التهيجية المتبقية اقل من الطاقة الرابطة للنيوكلو ن وهذه الطاقة التهيجية المتبقية تنقل من النواة بواسطة بعث اشعة كاما ، مثال :ـ

اذا افترضنا بان النواة المركبة O^{13} تكونت بطاقة تهيجية مجموعها (٢٠م أ ف) واذا كان متوسط الطاقة الرابطة لكل نيكلون يساوى (٦م أ ف) والطاقة المنتقلة مع النيروترون عند الانطلاق تساوى (٣م أ ف) .

لذلك فان انطلاق نيوترون واحد من النواة يسبب خفض في الطاقة التهيجية للنواة بمقداره (٩م أ ف) وعندما ينطلق نيوترونان من النواة يسببان خفض في الطاقة التهيجية مقداره (١٨م أ ف) ولذلك تبقى في النواة (٢م أ ف) طاقة تهيجية وبما ان هذه الطاقة اقل من الطاقة الرابطة للنيوترون ، اذن لايمكن ان ينطلق من النواة اكثر من نيوترونين والطاقة التهيجية المتبقية تبعث طاقة اشعة كاما

(٤ـ ٤) التفاعل المباشـــر :

اعتبرت نظرية النواة المركبة ان الجسيمات الساقطة تتفاعل مع النواة بكاملها وتتهيج تهيجا منتظما ويتبع ذلك ان بعض النيوكلونات تترك النواة عندما تكون الطاقة الحركيـــة للجسيمات الساقطة كبيرة ان نموذج النواة المركبة يفشل في تفسير بعض الظواهر الملاحظة ، واحد هذه الظواهر الملاحظة . المقطع العرضي للتفاعل $A(P, P_n)C$ ظهر في التجربة اكبر مما كان محسوبا له في نظرية النواة المركبة .

وقد اقترح سيربر R. Serber نموذجا للتفاعل الذي يتم بين الجسيمات الساقطة ذات طاقة (٥٠م إ ف) ونواة الهدف ، والغرض منه تفسير معظم مظاهر التفاعـــل النووي بقناعة اكثر من سابقه .

وطبقا لنظريته اعتبر التفاعل ذا الطاقة العالية يحدث بمرحلتين خلال المرحلة الاولـــى الجسيمة الساقطة تعاني تصادما مباشرا مع احد نيوكلونات النواة . في هذا التفاعل غالبـــا مايستلم النيوكلون المصطدم طاقة اكبر من طاقة ربطه النوويه . وبناء على ذلك فانه بعد اي تصادم يكون لكل من الجسيمة الساقطة الاولية والنيوكلون المصطدم احتمالية الهروب من النواة واذا ماهربت كلتا الجسمتين فان النواة عادة تترك بطاقة تهيجية صغيرة . وهذا مايوضـــح ظهور النيوترونات والبروتونات العالية الطاقة .

واذا بقيت احدى الجسيمتين او الاثنين معا في النواة فانهما سيصطدما مع النيوكلونات الاخرى ويكون لهما نفس الاحتمالية للهروب .

وبعد برهة من الزمن مقدارها حوالي (١٠ –١٩ ثا) بعض النيوكالونات المصطدمـــة تترك النواة وان النواة الناتجة تبقى فيهـــا طاقة تهيجية قليلة والتي يدورها تتوزع بانتظام فيها .

ومن ثم يدخل التفاعل في مرحلته الثانية التي يحدث فيها ان تفقد النواة الناتجـــة الطاقة التهيجية المتبقية بواسطة ترك النيوكلونات بعملية مشابهة في النواة المركبــة

(٤ـ٥) توازن الكتل والطاقات في التفاعل النوى :ـ

اى تفاعل نووى يمكن تحليله بدلالة كتل وطاقات النويات والجسيمات المشتركـــة في التفاعل • نعتبر التفاعل النووى الممثل بالمعادلة الآتيـــة :ـ

$$x + X \longrightarrow Y + y \qquad (٤ـ٥)$$

حيث X نواة الهدف ، x الجسيمة الساقطة ، Y النواة النتاتجة و y الجسيمة النتاتجة • سنفترض بان نواة الهدف ساكنة عند ابتداء التفاعل اى ليســت لها طاقة حركية •

بما ان الطاقة الكلية للجسيمة او الذرة تساوى مجموع الطاقة الساكنة rest – energy والطاقة الحركية kinetic energy اذن سيكون التعبير الرياضي عن قانون حفظ الطاقة للتفاعل النووى الممثل بالمعادلة (٤ـ٥) كمايلي :ـ

Total energy before reaction = Total energy after reaction

$$(E_x + m_x c^2) + M_X c^2 = (E_Y + M_Y c^2) + (E_y + m_y c^2) \qquad (٤ـ٦)$$

في المعادلة (٤ـ٦) تشير الرموز M_Y ، m_y ، M_X ، m_x الى كتل كل من الجسيمة الساقطة ، نواة الهدف ، الجسيمة الناتجة ، النواة الناتجـــة نصطلح الان على التمية (Q) لتشير الى الفرق بين الطاقة الحركية لنواتج التفاعـــل والطاقة الحركية للجسيمة الساقطة ، وبذلك تكتب (Q) كمايلي :ـ

$$Q = E_Y + E_y - E_x \qquad (٤ـ٧)$$

ان الطرف الايمن من المعادلة (٤ـ٧) يمكن التعبير عنه بدلالة الكتل وذلك بالاستعانـــة بالمعادلة (٤ـ٦)

$$E_y + E_y - E_x = (M_x + m_x - M_y - m_y)\, c^2$$

اذن

$$Q = \left[(M_x + m_x) - (M_y + m_y)\right] \cdot c^2 \quad \ldots\ldots (٤_٨)$$

وتدعى (Q) بطاقة توازن التفاعل energy balance of reaction
واذا كانت قيمة (Q) موجبة فان الطاقة الحركية لنواتج التفاعل تكون اكبر من الطاقة الحركية للجسيمة الساقطة ، ويقال في هذه الحالة ان التفاعل طاردا للطاقة .
واذا كانت (Q) سالبة فان التفاعل يكون ماصا للطاقة .
يتضح من المعادلة (٤_٨) بان تحليل التفاعل النووي كميا امدنا بمعلومات حول كتل وطاقة النويات والجسيمات ، ولهذا يمكن استعمال التفاعلات النووية للحصول على معلومات حول الكتل وطاقة النويات والجسيمات . مثال

مثال : احسب قيمة (Q) للتفاعل الاتـــي :ـ

$$Th^{232} + He^4 \longrightarrow U^{235} + n + Q$$

باستخـــدام القيم الاتية

$n = 1.0090$ amu.

$He^4 = 4.0038$ amu

$Th^{232} = 232.1105$ amu

$U^{235} = 235.1172$ amu

الحل :

$$Q = 931\left[(M_{Th} + M_{He}) - (M_u + M_n)\right]$$

$$Q = 931(236.1143 - 236.1262)$$

$$Q = -11.1 \text{ Mev}$$

الاشارة السالبة تشير الى ان التفاعل ماص للطاقة .

(٤ ــ ٦) انتاج العناصر مابعد اليورانيوم

في سنة ١٩٣٤ اقترح فرمي امكانية انتاج عناصر عددها الذرى اكبر من (٩٢) بواسطة قذف اليورانيوم بنيوترونات • وفي اولى التجارب رأى عندما يقذف اليورانيوم بنيوترونات بطيئة فانه تتكون اربعة نشاطات مختلفة لاشعة بيتا •

وبين سنة ١٩٣٤ ، ١٩٣٩ قامت عدة محاولات لصنع عناصر ما بعد اليورانيوم واثبات وجودها ولكن اعترضتها بعض الصعوبات والشكوك ، واحد هذه الصعوبات اندماج عناصر مابعد اليورانيوم بالعناصر الناتجة من الانشطار . وفي سنة ١٩٤٠ ثبت بانه عندما يأسر اليورانيوم (٢٣٨) نيوترون بطيء ينتج نظير جديد هو (U^{239}) الذى يتحلل ببعث اشعة بيتا بنصف عمر ٢٣٫٥ دقيقة ،مما يؤدى الى تكوين عنصر جديد عدده الذرى (٩٣) يسمى بالنيتونيوم (N_p) ويكتب هذا التفاعل بالرموز كمايلي :-

$$U^{238} + n \longrightarrow U^{239} \longrightarrow U^{239} + h\nu$$

$$U^{239} \longrightarrow {}_{93}N_p^{239} + e^{-1} \quad ، \quad T = 23.5 \ \text{mim,}$$

وان النبتونيوم المتكون نشط اشعاعيا ايضا فهو يبعث بدقائق بيتا فيكون عنصرا جديدا بعد اليورانيوم عدده الذرى (٩٤) يعرف بالبلوتونيوم plotonium

N

ويكتب التفاعل بالرموز كمايلي :-

$${}_{93}N_p^{239} \longrightarrow {}_{94}P_u^{239} + e^{-1} \qquad T \quad 23d$$

ونظير البلوتونيوم المتكون نشط اشعاعيا ، حيث يبعث بدقائق الفا بنصف عمر طويل :

$$P_u^{239} \longrightarrow U^{235} + He^4 \quad ، \quad T = 24000 \ Yr.$$

وان البلوتونيوم يلعب دورا هاما في مشروع القنبلة الذرية وذلك بسبب قابليته للانشطار بكل من النيوترونات السريعة والبطيئة •

ومن الممكن صنع نظائر عنصر الامريسيوم (٩٥) ونظائر عنصر الكوريوم (٩٦) وذلك بقذف اليورانيوم (٢٣٩) بنيوترونات ،

ومعادلات التفاعل تكون كالاتي :ـ

$$Pu^{239} + n \longrightarrow Pu^{240} + \gamma$$

$$Pu^{240} + n \longrightarrow Pu^{241} + \gamma$$

$$Pu^{241} \longrightarrow {}_{95}Am^{241} + e^{-1}$$

ويتكون بنفس الوقت الكوريوم ${}_{96}Cm^{242}$

$$Am^{241} + n \longrightarrow Am^{242} + \gamma$$

$$Am^{242} \longrightarrow Cm^{242} + e^{-1}$$

ويمكن الحصول على نظير عنصر (٩٧) البركليوم Berkelium وذلك بقذف نواة Am^{241} بجسيمات الفا ، ومعادلة التفاعل تكون كالاتي :ـ

$$_{95}Am^{241} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{97}Bk^{243} + 2n$$

من الممكن كذلك انتاج عناصر مابعد اليورانيوم بواسطة قذف اليورانيوم بنويات ثقيلة مثل C^{12} ، N^{14} ، O^{16} وقد نتجت نظائر الكالفورنيوم والفرميوم والانشتانيوم وذلك بقذف اليورانيوم بالكاربون والناتيروجين او والاوكسجين . وان معادلات التفاعل تكون كالاتي :ـ

$$U^{238} + C^{12} \longrightarrow {}_{98}Cf^{244} + 6n$$

$$U^{238} + N^{14} \longrightarrow {}_{99}E^{246} + 6n$$

$$U^{238} + O^{16} \longrightarrow {}_{100}Fm^{250} + 4n$$

وقد حضرت نظائر عنصر (١٠١) . (المندليفيوم) بقذف الانشتانيوم E^{253} بجسيمات الفا ، واما نظائر عنصر (١٠٢) فقد حضرت بقذف الخليط المتكون من Cm^{244} ، Cm^{246}

بذرات كاربون (١٢) التي طاقتها تتراوح بين ٦٠ ـ ١٠٠ م ٠ أ ٠ ف

(٤ ـ ٧) الاندماج النـــووي :

سبق لنا ان ناقشنا في البند (١ ـ ٥) النقص في الكتلة ، الذي ينشأ عن جمع بروتون ونيوترون معا في نواة الديوترون H^2 وبينا ان هذا النقص يبلغ (٠,٠٠٢٣٥) وحدة كتلة ذرية أي ٢,١٤ م ٠ أ ٠ ف وهذا يوحي بامكانية تحرير طاقة الكتلة عن طريق اندماج الجسيمات الاولية لتكوين نواة اكثر تعقيدا ٠ ويطلق على عملية انطلاق الطاقة اثناء تكوين النويات اسم الاندماج النووي وهي عكس عملية الانشطار النووي ٠ نستنتج من الشكل (١ ـ ٣) ان الانشطار يكون مربحا للطاقة في حالات النويات الثقيلة جدا فقط بينما نجد ان الاندماج تكون عملية الطاقة مربحة في النويات الخفيفة جدا ٠ ومن تفاعلات الاندماج النووي المهمة جدا الآتيــة :ـ

$$H^2 + H^2 \longrightarrow He^3 + n$$

$$H^2 + H^3 \longrightarrow He^4 + n$$

لجعل هذه التفاعلات ممكنة ، فلا بد من التغلب على قوة التنافر الكهربائي الكولومبي التي تستلزم جعل الطاقة الحركية للديوترون H^2 تساوي ٠,٢ م ٠ أ ٠ ف وبكلمات اخرى تستلزم للديوترونات حرارة درجتها (٢٠٠) مليون درجة مئوي لكي تصل طاقتها الحركية ٠,٢ م ٠ أ ٠ ف ٠

وبالطبع مثل هذا التفاعل يمكن انجازه بسهولة باستخدام المعجلات الذرية مثل المعجل فان دي كراف ٠

ان الذرات التي طاقة كل ذرة فيها ٠,٢ م ٠ أ ٠ ف توجد فقط في الحالة الغازية وفي الحقيقة كذلك الكترونات هذه الذرات تعجل ومن ثم تهرب من ذراتها ، وفي هذه الحالة يصبح الغاز الساخن متكون من ايونات موجبة والكترونات ويسمى مثل هذا الغاز بالبلازما $Plasma$ وبما انه لايمكن السماح للبلازما الاصطدام بجدار صلب بسبب انتقال الحرارة الذي يؤدي الى انخفاض مفاجيء في درجة حرارة البلازما دون الحرارة اللازمة في التفاعل ، وكذلك يؤدي الى صهر الجدار ٠ وهذا لابد من استخدام جدار غير مادي مثل المجال المغناطيسي ٠

هذه المجالات المغناطيسية يمكن ان تحفظ البلازما مركزة بنفس الطريقة المستعملة

في جهاز بيفاترون المغناطيسي Bevatron الذى يحفظ حزمة البروتونات في مسلكها الدائرى عند تسليط مجال مغناطيسي على البلازما فانه يؤثر على البوترونات ولهذا فان النيوترونات تهرب من الوعاء وتحمل معها جزءا من الطاقة المنطلقة من التفاعل . هذه الطاقة من الممكن تحويلها الى طاقة حرارية بواسطة ابطاء النيوترونات في بطانة جدار التفاعل الذى يحتوى فيه البلازما .

الطاقـــة المنتجة في النجوم

من احد المسائل الغامضة في علم الفيزياء مسئلة مصدر الطاقة المنبعثة من النجوم ولكن منذ ان اكتشفت ظاهرة تحول العناصر من عنصرا الى آخر أخذ بعض العلماء يفكرون بان تحول الكتلة الى طاقـة والذى يحصل اثناء تحول العناصر ، ربما كان يكفي لتفسير منشا القسم الاعظم من الطاقة التي تشعها النجوم . والآن دعنا نفترض أن منشا الطاقة في النجوم ناتج عن تفاعل كيمياوى ولو أجرينا الحسابات على هذا الاساس فاننا نستنتج على سبيل المثال بالنسبة للشمس انها تستطيع اعطاء الطاقة لمدة بضع آلاف من السنين وبعدها تتوقف عن الاعطاء .

واذا افترضنا ان منشا الطاقة في الشمس ناتج عن انشطار العناصر الثقيلة فانه يجب ان تكون وفرة العناصر الثقيلة في الشمس كبيرة جدا ولكن وجد ان وفرة هذه العناصر قليلة جدا بحيث لا تستطيع ان تعلل معدل الانبعاث وكذلك عمر الشمس ..

واذا افترضنا ان منشا الطاقة في الشمس ناتج عن اندماج العناصر الخفيفة جدا فانه يجب ان تكون وفرة العناصر الخفيفة كبيرة جدا في الشمس وهذا ما وجد بالفعل اذ ان نسبة العنصر الخفيفة مثل الهايدروجين والهليوم ٩٠٪ من مادة الشمس وعلى هذا الاساس وضع بيث Bethe نظريته في سنة ١٩٣٦ في كيفية تولد الطاقة النجمية وبموجبها تتحول البروتونات الى نويات الهليوم في تفاعلات النووية المناسبة .

وهذه التفاعلات النووية المناسبة تحدث كسلسلة من تفاعلات عديدة ، ومن احد انواعها التي ربما حصلت في النجوم تلك المتسلسلة التي تسمى احيانا بسلسلة بروتون - بروتون وتبدا هذه السلسلة بتفاعل يحصل بين بروتون وبروتون آخر فيتحدا ويكونا الديوترون بعد تحلل بيتا .

وفيما يلي التفاعلات النووية :

$${}_{1}H^{1} + {}_{1}H^{1} \longrightarrow {}_{2}He^{2} \longrightarrow {}_{1}H^{2} + e^{+1}$$

يعقبها التفاعل الآتي :

$$_1H^2 + _1H^1 \longrightarrow _2He^3$$

وتنتهي السلسلة بأحد هذين التفاعلين :

$$_2He^3 + _1H^1 \longrightarrow _3Li^4 \longrightarrow _2He^4 + e^{+1}$$

$$_2He^3 + _2He^3 \longrightarrow _4Be^6 \longrightarrow _2He^4 + _1H^1 + _1H^1$$

ويكون التفاعل الأخير أكثر احتمالاً .

ومن متسلسلات التفاعل الآخرى التي يحتمل حصولها تلك التي تسمى السلسلة الكربونية التي تتحول فيها البروتونات إلى نويات الهليوم ويكون فيها الكاربون والنايتروجين عاملين مساعدين وتسمى هذه السلسلة عادة " بدورة الكاربون والنايتروجين وفيما يلي التفاعلات النووية المفروضة :

$$_6C^{12} + _1H^1 \longrightarrow _7N^{13} \longrightarrow _7N^{13} + \gamma$$

$$_7N^{13} \longrightarrow _6C^{13} + e^{+1} \quad , \quad T = 9.9\, min.$$

$$C^{13} + H^1 \longrightarrow N^{14} \longrightarrow N^{14} + \gamma$$

$$N^{14} + H^1 \longrightarrow O^{15} \longrightarrow O^{15} + \gamma$$

$$O^{15} \longrightarrow N^{15} + e^{+1} \quad , \quad T = 2.1\, min.$$

$$N^{15} + H^1 \longrightarrow O^{16} \longrightarrow C^{12} + He^4$$

الكتل المتحررة على صورة طاقة أثناء هذه السلسلة من التفاعلات يساوي الفرق بين مجموع كتل أربعة بروتونات وبين نواة الهليوم (٢٧٦٤٠ م ٠ أ ٠ ف) أي يعادل (٠٢٥٧ م أ ٠ ف) في حالة الشمس المظنون أن كل ١ غم من كتلتها يحوى حوالي ٢×١٠^٢٣ بروتون وإذن فلو استهلكت جميع البروتونات فان الطاقة المتحررة تبلغ ٢×١٠^٨ أرك ولو استمرت الشمس على اشعاع طاقتها بمعدل اشعاعها الحالي فانها سوف تحتاج حوالي (٣٠ بليون سنة لكي تستنفذ محتوياتها من البووتونات ..

الفصل الخامس

أجهزة كشف الجسيمات النووية

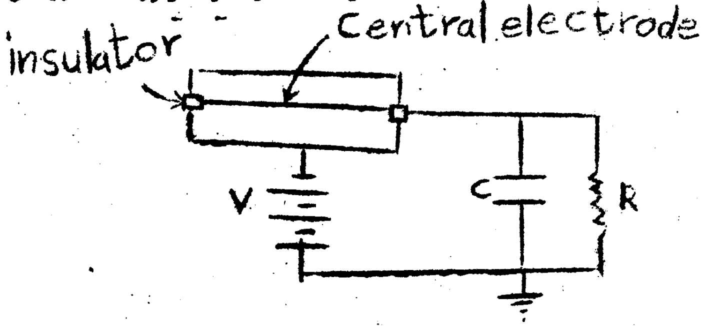
أن قدرة الإشعاعات الثلاث (ألفا - بيتا - كاما) على تأيين الغازات جعلت من الممكن استخدامها في تصميم أجهزة لها القدرة على كشف الإشعاعات ومن هذه الأجهزة ما يأتي :

١) الأجهزة الكاشفة (الكهربائية) .

٢) الأجهزة الكاشفة المرئية .

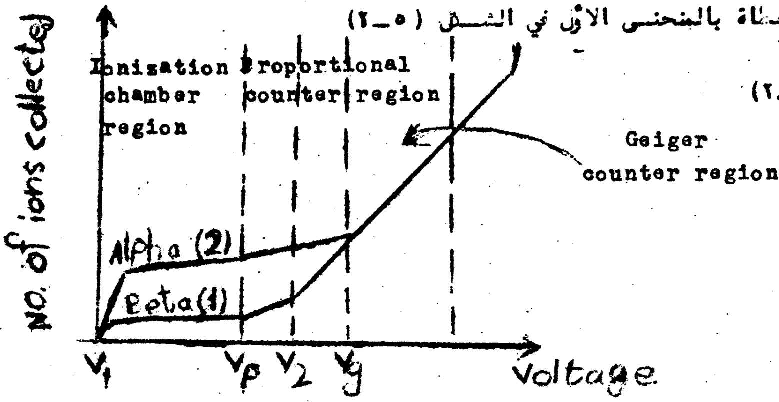
(٥-١) الأجهزة الكاشفة (الكهربائية) :-

حجرة التأين ionization chamber وعداد التناسب proportional counter وعداد كايكر (Geiger-Muller counter) كل واحد من هذه الاجهزه يستند على تكوين التأين في الغاز وفصل وجمع الايونات المتكونه بعملية التأين بواسطة مجال كهربائي وان الاختلاف بين هذه الاجهزه الثلاثه يمكن توضيحه بالشكل (٥-١) وهو يتكون من اسطوانه مصنوعة من معدن جيد التوصيل للكهربائيه وتحتوي هذه الاسطوانه على سلك دقيق مثبت بموازاة محور الاسطوانه ومعزول عنها وتحتوي كذلك على غاز مثل الهواء او الاركون ضغطه بين ١٢٥٠ سم زئبق



شكل (٥-١)

وبتطبيق فرق جهد بين السلك المسمى بالقطب المركزي central electrode وجدار الاسطوانه خلال المقاومه R المربوطه على التوازي مع المتسعه C بحيث يكون القطب المركزي ذا جهد موجب بالنسبه الى جدار الاسطوانه نفترض بان دخول الجسيمه النوويه خلال الحجره تحرر N_1 من الازواج الايونيه ، وبسبب اتجاه المجال الكهربائي فان الايونات الموجبه تتجه الى جدار الاسطوانه والالكترونات الى القطب المركزي وان الشحنه Q الظاهره على المتسعه نتيجه لمرور جسيمة خلال الحجره والمرسومه كدالة لفرق الجهد V معطاة بالمنحنى الاول في الشكل (٥-٢)



شكل (٥-٢)

وبالنسبه الى جسيمة اخرى تنتج ازواج ايونيه N_2 اكثر من N_1 فقد حصلت بالمنحني الثاني في الشكل (٥-٢) هذان المنحنيان يمكن تقسيمهما الى اربع مناطق رئيسيه وفي هذه المناطق يحدث مايلي :-

اذا لم يطبق فرق جهد بين القطب المركزي وجدار الاسطوانه فان الايونات المتكونة فيها (نجد) بينها مرة اخرى، وبذلك سوف لا تظهر اية شحنه على المتسعه واذا زيد فرق الجهد بينهما الى القيمه V_1 كما هو موضح في الشكل (٥-٢) فانه سيوجد تنافس بين الازواج الايونيه المفقوده باعادة اتحادها مرة ثانيه وازالة الايونات بتجمعها على الاقطاب وعند ماتكون قيمة فرق الجهد اكبر من V_1 فانه يمكن اهمال فقدان الايونات التي تنفقد باعادة اتحادها مرة ثانيه، وبالتالي سوف تصل جميع الالكترونات الى القطب المركزي ويستمر هذا الحال الى ان تصل قيمة فرق الجهد الى V_p اذن يكون في المنطقه المحصوره بين V_1، V_p الشحنة الظاهره في المتسعه C لا تعتمد على الجهد المطبق وان المنحني يكون افقياً، وتدعى هذه المنطقه عمل حجرة التأين counter oper- -ionization وعند ما تجعل فرق الجهد يزداد فوق قيمة V_p فان عدد الايونات يصبح اكثر من عدد الايونات التي تكونت في بداية عملية التأين بسبب ظاهره تدعى بغاز التكبير - gas amplification ان الالكترونات المنطلقه في عمليه التأيين الابتدائي قد تحصل على طاقه تكفي لانتاج تأيين اضافي عند ما تصطدم هذه الالكترونات بجزيئات الغاز وقد لوحظ ان عدد الالكترونات او الايونات الموجبه تزداد اسياً مع تغير فرق الجهد. ولهذا عند ما يتحرك الكترون ابتدائي متقرباً من القطب المركزي فانه يحدث حوالي بين ١٠ الى ١٠ إلكترون ثانوي نتيجة كذلك الى القطب المركزي وبذلك تحدث هبوطاً مفاجاً في جهد القطب المركزي، وان هذا التأثير للالكترونات يستمر الى قيمة فرق الجهد V_2 وتستنتج من الكلام الآنف الذكر ان المنطقه المحصوره بين V_p، V_2 الموضحه في الشكل (٥-٢) يتناسب فيها عدد الايونات المتجمعه على الاقطاب طردياً مع الايونات المبتدئه. هذه المنطقه تدعى بمنطقة عمل عداد التناسب

وعند جعل فرق الجهد يزداد فوق قيمة V_2 فان تأثير تكبير الغاز يستمر على الزياده وبسرعه عاليه، وان الالكترونات الكثيره جداً تحدث هبوطاً في جهد القطب المركزي اكبر من المنطقه المذكوره بين V_p، V_2 وتدعى هذه المنطقه المحصوره بين V_2، V_g الموضحه في الشكل (٥-٢) بمنطقة التناسب المنتهيه

وعند ما تكون قيمة فرق الجهد اكبر من V_g فان الشحنه المتجمعه على الاقطاب تصبح غير معتمده على شحنة التأين المبدوء لها وتدعى هذه المنطقه التي تكون فيها قيمة فرق الجهد اكبر من V_g الموضحه في الشكل (٥-٢) بمنطقة عمل كايكر مولر.

كنتيجة لسلوك ايونات الغاز في المجال الكهربائي ، فقد اكتشف ثلاث اجهزة لكشف الجسيمات النوويه .

١. حجرة التأين

وتتكون في ابسط صورها من وعاء معدني مملوء بالغاز ، ادخل فيه قطب كهربائي معزول عن الوعاء ، ثم يسلط فرق جهد تكون قيمته الملائمه احد قيم منطقه عمل حجرة التأين الموضحه في الشكل (٥-٢) وعندما تدخل جسيمة حجرة التأين فانها تسبب تأين الغاز وبالتالي تحدث نبضة جهد وكلما ازداد التأين الذي يحدثه الجسيم اكبرت نبضة الجهد . ويمكن لحجرة التأيين ان تفرق بين كل من جسيمات الفا وجسيمات بيتا كما يمكنها ايضا تسجيل اشعة كاما عن طريق الالكترونات الثانويه ولو ان النبضه الناتجه في هذه الحالة تكون صغيره .

٢. عداد التناسب

هو الجهاز الذي يعمل باحدى قيم فرق الجهد لمنطقه عمل عداد التناسب الموضحه في شكل (٥-٢) ان مجموع الشحنات المتجمعه على الاقطاب والتي تحدث نبضه كهربائيه تتناسب طرديا مع التأيين الابتدائي . ويستعمل هذا العداد في قياس طاقة الجسيمات وعدها .

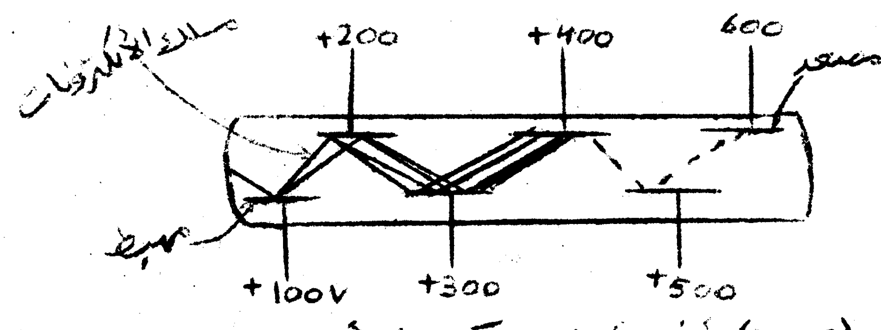
٣. عداد كايكر

يعتبر عداد كايكر من اكثر كاشفات الجسيمات والفوتونات شيوعا ولقد اخترعه (كايكر) سنة ١٩٠١ عندما كان يعمل في معمل رذفورد وقد اعطت خدماته بعد تحسينات وجرايان نتوه الحساسيه والبساطه والمرونه في الاستعمال وقوة الاحتمال في الكشف على الجسيمات
[illegible] وان قيمة فرق الجهد بين جدار الاسطوانه والقطب المركزي تأخذ اية قيمه من قيم جهد منطقة عمل عداد كايكر الموضحه في الشكل (٥-٢) . وبما ان مجموع الشحنات المتجمعه على الاقطاب لا تعتمد على التأين الابتدائي لذلك لا يستخدم عداد كايكر في قياس طاقة الجسيمات او لمعرفة نوع الجسيمات ، واكثر ما يستخدم هذا الجهاز في عد الجسيمات والفوتونات .

(٥–٢) عـداد التلألؤ

اكتشف في سنة ١٩٠٠م (جيجر ومارسدن) وأن جسيمات الفا من الممكن أن تنتج ومضات فيما اذا سقطت على حاجز من كبريتيد الخارصين ، ويمكن رصد الوميض (التلألؤ) الحاصل في الحاجز بواسطة مجهر microscope وأن التجارب الدقيقه اثبتت أن لكل دقيقه الفا واحده تنتج وميضاً واحداً فقط ، ولهذا يمكن عد جسيمات الفا الساقطه على السطح الحساس في كل ثانيه مباشره وذلك بعد الومضات في الثانيه الواحده ولكن هذه الطريقه متعبة للراصد ، ويكون عد الجسيمات فيها محدوداً بسبب أن المشتغل لا يستطيع أن يعد اكثر من ٦٠ ومضه في الدقيقه الواحده ، وهذه الطريقه لا تستطيع أن تتحسس لجسيمات بيتا أو أشعة كاما بل أنها مفيده فقط في عد جسيمات الفا .

وفي سنة ١٩٤٧م أدخلت تحسينات على طريقة الوميض وذلك باستخدام مضاعفات كهروضوئيه Photomultiplier والشكل التخطيطي لها موضح في الشكل (٥–٣) ويضم هذا الجهاز بجوار حاجز كبريتيد الخارصين وأن الضوء الحاصل من التلألؤ نتيجة لسقوط دقيقه الفا على حاجز كبريتيد الخارصين أو على احد مواد الفوسفورات الاخرى ، يسقط على مهبط cathode انبوبه المضاعفه الكهروضوئيه ويحدث في انطلاق فوتو الكترون واحد أو اكثر



شكل (٥–٣) أنبوبة مضاعفة كهروضوئية

وبتأثير المضاعفه الكهروضوئيه تزداد الشحنه الكليه بعامل مقداره $(10)^6$ أو اكثر تربط الاجهزه الثانيه مع المضاعفه الكهروضوئيه مثل كشاف التذبذب Oscillscope لكي تبصر النبضه الحاصله ،

ان كل جسيمه ساقطه على الماده الفوسفوريه phosphor مثل كبريتيد الخارصين تنتج نبضه ، ولعد النبضات تستخدم اجهزة الكترونيه مناسبه ولهذا السبب سمي هذا

الجهاز بعداد التلألؤ .

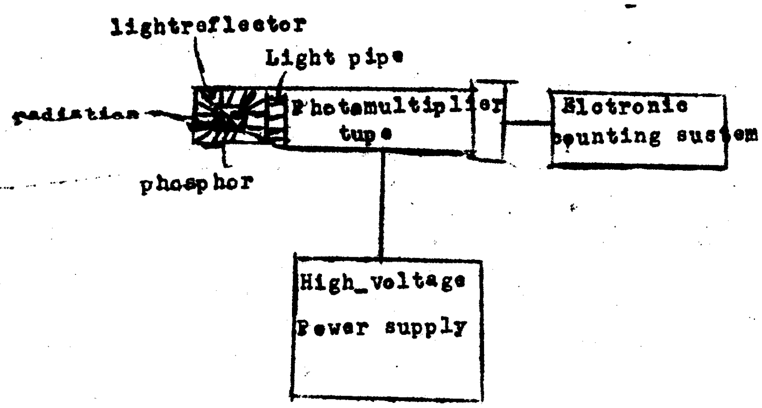
ب ـ

ان نبر النبضه التي تحدثها الجسيمه الساقطه تتناسب مع طاقتها ويدرك عداد التلألؤ باستعمال دقائق ذات طاقه معلومه .

وقد وجد ان هناك مواد عديده غير كهربائية الخارسين يمكن ان تستعمل كماده فوسفوريه ومن اهم هذه المواد بلورات ايوديد الصوديوم المنشطه بالتاليوم NaI(Tl) وبلوره اليوتاسيوم الحاويه على التاليوم KI(Tl) وتتوقف فائدة الفسفوره في استعمالها في عداد التلألؤ على قصر استدامة نبضة الضوء التي تكون من مرتبه 10^{-8} ثانيه والحادثه بسبب الدقيقه الساقطه بحيث يتيسر عد جمله تلألؤات في زمن قصير وبعد ان اضيفت اجهزة الكترونيه مناسبة لعداد التلألؤ فقد استخدم في عزل الدقائق التي تكون ضمن مدى معلوم من الطاقه بحيث مكننا من قياس كيفيه توزيع الطاقه في الاشعه الساقطه وقد سمي هذا الجهاز باسم كشاف طيف التلألؤ وشكل (٥ـ٤) يوضح شكلاً تخطيطياً لاحد الانواع الحديثه لعداد التلألؤ

شكل (٥ـ٤)

شكل تخطيطي لعداد التلألؤ



(٥-٣) الأجهزة الكاشفه (المرئيه) :-

١- الحجرة السحابيه

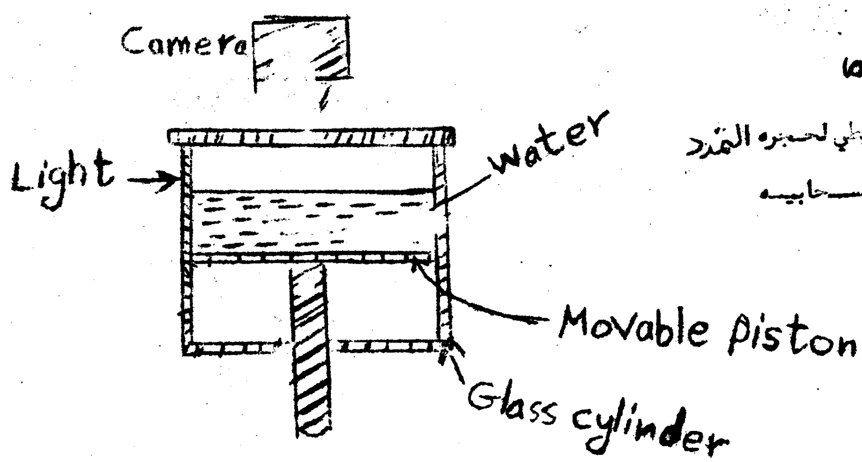
هي أحد الأجهزه المهمه جداً المستخدمه في أبحاث الاشعاع كان أول من استخدمها ولسن C.T.R. Wilson في سنة ١٩١٢م .

يتوقف عملها على الحقيقه المعروفه بأن بخار الماء يميل الى التكثف حول الايونات ويوجد الآن نوعان من الحجر السحابيه يختلفان في الطريقه المستعمله للحصول على حالة فوق التشبع اللازمه للتكثيف .

النوع الأول :- يسمى حجرة التمدد السحابيه

في هذا النوع يشبع حيزاً محدوداً من الهواء ببخار الماء (والتشبع يحدث دائماً في حالة وجود الماء) ثم يبرد الهواء فجأة فيصبح الحيز في حالة فوق الاشباع أي انه يحتوي ولفترة قصيرة على قدر من بخار الماء يزيد على ما يمكنه الاحتفاظ به بصفه دائميه وبذلك يتكون ضباب من قطيرات الماء حول الأيونات في الحجرة وأن جسيم ألفا مثلاً الذي يمر خلال هذا الحيز فوق المشبع يحدث مساراً من الأيونات التي تتكشف عليها قطيرات الماء وبذلك يتكون مساراً مرئياً .

ونرى في شكل (٥-٥) رسماً لحجرة التمدد السحابيه



شكل (٥-٥)

شكل تخطيطي لحجرة التمدد الـ... السحابيه

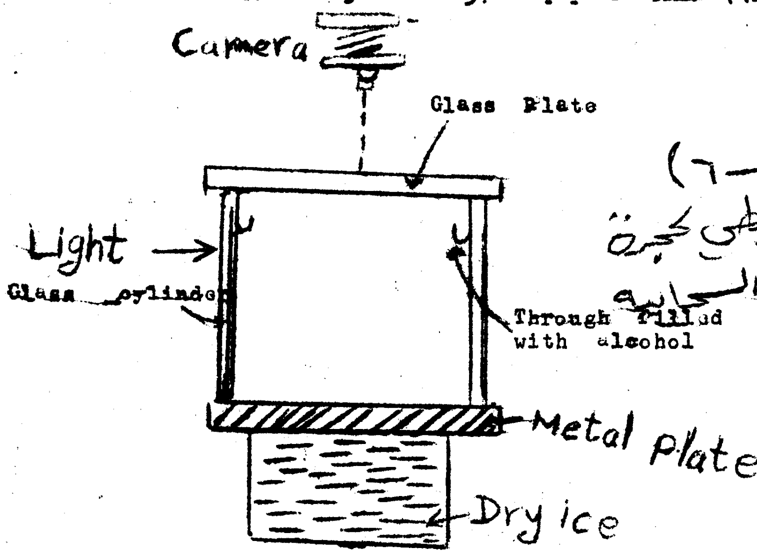
نحصل على التبريد اللازم لاحداث حالة فوق الاشباع بالسماح للغاز بالتمدد بسرعة .
واذا عبر جسيم الفا الحجره قبل التمدد مباشرة فانه يترك مساراً مرئياً .
يستخدم قطب مجهز ذو جهد موجب بالنسبه لسطح الماء للتخلص من الايونات بعد التمدد وبذلك تصبح الحجره على استعداد لاستقبال جسيم آخر . ويمكن هذه الحجره أن تظهر آثار كل من جسيمات الفا وبيتا . أما أشعة كاما فيدل على أثرها الالكترون الثانوي (فوتو الكترون أو الكترون كومبتن) الذي لاينتج الا نادراً في جو الحجرة الا أنه

اذا سمح لاشعة ما بالنفاذ خلال سحف صفيحه معدنيه في اول الامر لتكبير عدد فوتو الكترون ، وبذلك نتنبأ بسهوله عنها .

النوع الثاني :- حجرة الانتشار السحابيه

هذا الجهاز يعمل على نشر بخار التكثيف من المنطقه الحاره التي يكون البخار عند ها غير مشبع الى المنطقه البارده حيث يصبح فيها في حالة فوق الاشباع وان البخار المستعمل عاده هو المثيل او الكحول الاثيلي .

ونرى في شكل (٥-٦) شكلا تخطيطيا لحجرة الانتشار السحابيه



شكل (٥-٦)
شكل تخطيطي لحجرة الانتشار السحابية

يدخل البخار من الجزء الاعلى الذي يكون فيها حارا وينتشر باستمرار الى الاسفل خلال منطقه تنخفض فيها الحراره باستمرار وبانتظام ، وهذا الانخفاض في الحراره يحفظ الجزء الاسفل في حالة بارده بالنسبه الى الجزء الاعلى . ومن خواص حجرة الانتشار السحابيه انها دائمه التحسس للجسيمات الداخله فيها بعكس حجرة التمدد السحابيه التي تكون حساسه فقط لفتره زمنيه قصيره بعد التمدد

تمارين

١- احسب مجموع الطاقة الرابطة لـ Ca^{40} و Pu^{239} مستخدماً الكتل الذرية الاتية

الجواب

٢) اذا كانت طاقة تحلل الفا لـ Pu^{239} تساوي 5.24 Mev فما هي كتلة U^{235}؟

مع العلم ان كتلة $M_{He^4} = 4.0039$ a.m.u.

الجواب ; 235.1167 a.m.u.

٣ احسب انصاف الاقطار للنويات الاتية Cd^{112} ، As^{75} ، Fe^{56} ، O^{16} ، He^4

مع العلم ان

$$R_o = 1.4 \times 10^{-13}\ cm$$

الجواب [illegible]

٤) افرض ان مجموع الطاقة الحركية لشظايا انشطار U^{235} باشرها نيوترون بطيء تساوي 170 Mev وكذلك افرض ان معدل فقدان النيوترونات لكل عملية انشطار ٢ نيوترون و استخدم قانون حفظ الطاقة والزخم في حساب الطاقة الحركية للنويات التي لـ ا العدد الكتلي

ثم ارسم منحنى الطاقة الحركية ضد العدد الكتلي $(A = 80, 90, 100, 110, 140)$

الجواب $A = 80$ ، $E = 112$ Mev

٥) ابتداء من Th^{228} لتبرهن على ان $M_1V_1 = M_2V_2$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{M_2}{M_1}$$

٦) عند تحلل [illegible] وحظ ان طاقات جسيمات الفا تأخذ القيم الاتية 6.03, 6.7, 6.22, 6.33

وكذلك لوحظ ان طاقات اشعة كاما تأخذ القيم الاتية (0.24 Mev, 0.20, 0.13, 0.11)

استعن بهذه المعلومات لرسم شكل تخطيطي للتحلل

٧) احسب الطاقة [illegible] المنطلقة لكل من التفاعلات الاتية مستخدماً القيم الاتية

$$a)\ H^2 + H^2 \longrightarrow He^3 + n$$

$$b)\ H^2 + H^3 \longrightarrow He^4 + n$$

$M_{H^2} = 2.0147$ a.m.u.

$M_{H^3} = 3.017$ a.m.u.

$M_{He^3} = 3.017$ a.m.u.

$M_{He^4} = 4.0038$ a.m.u.

المصطلحات

Anode	الأنود ((المصعد))
Avarage velocity	السرعة المتوسطه
Collusion	التصادم
Critisal volume	الحجم الحرج
Fis sion	الأنشطار
Fluorescence	الخاصيه الفلورنسيه
Half_ life	عمر النصف
indnction	الحث
interaction	التفاعل
Ienization	التأين
Isotopes	النظائر
Macrophysics	الماكروفيزياء ((فيزياء الأجسام الكبيره
Microphysics	المكروفيزياء ((فيزياء الأجسام الصغيره
Molecues	الجزيئات
Nuclear fusion	الأندماج النووى
Nucleonice	النوويات
Particle	الجسيم
Photoelectrons	الكترونات الفوتونيه
Pile	ركامنه
power	القدره
prebabillity	الأحتماليه
Quantization	خاصية الكم
Quantum Mechanies	ميكانيك الكم
Spectrometer	المطياف
Comp ton, Effect	أثر كومتن
pair Electrons	أزواج الكترونات
End point energy	طاقة نقطة النهايه

المراجع العربية والأجنبية

المراجع العربية

١ـ مقدمة للفيزياء النووية تأليف هنري سمات
ترجمة الدكتور رعبال جابعلله
والدكتور صلاح عزة حسين

٢ـ المبادئ الأساسية للفيزياء الذرية
تأليف ريتشارد فيفيز ، روبرت بيرنجر
ترجمة الدكتور سعد رمضان هداره
الدكتور محمد أمين عمر
والدكتور يوسف لبدو

مراجعة الدكتور محمد مختار

المراجع الأجنبية

1- Nuclear Physics An Introduction
by W.E. Burcham

2- Nuclear Physics
by Irving Kaplan

3- Intro duction to modern Physics
by F.K Richtmyer . E.H. Kennard T. Lauritsen

4- Nuclei and Radioactivity
by Gregory R. Choppin

5- Nuclear Radiation Detection
bu W.J. price

6- Experimental nuclear physics
by H.A. Bethe and J. Ashkin

7- Introduction to Atomic and Nuclear physics
by Ott Aldenbery

8) Nuclear Physics
by Roy WEINSTEN

المحتويات

جـــــدول الخطــــأ والصـــواب

الخطأ	الصواب	الصفحه	السطر
الخميره	المجبره	٣	جدول (٦ـ١) سطر ٦
بشرح	لنشرح	٤	١٦
شفاغله	شاغله	٤	٢٥
صوت	حدوث	٥	١٦
صافى النوويه	صافى الشحنه النوويه	٦	١٥
الذى	الذرى	٦	
الكتب	الكتل	٧	٨
N_oM_H	N_oM_n	٧	معادله (١ـ٢)
M_g	M	٧	٢٢
M_u	M_n	٩	٢
831	951	٩	ذ ٦
الصوره	المحصوره	١٢	٢
الكامله	الكامنه	١٢	٢
فهيا	فيها	١٣	٨
مثتين	مثنى	١٤	٨
قصه	قطعه	١٥	٥
١٠ ن م	١٠م	١٨	٥
الجسيمات	للجسيمات	١٨	١٦
تحول	تحلل	٢١	٩،٤
115.90096	115.94096	٢٢	١٤
نهاية نقطة الطاقة	طاقة نقطة النهايه	٢٣	٧
		٢٤	٦،٤،٥
اشتمل	اشتمل	٢٤	٩
حاجته	خاصته	٢٤	١٣
نهاية نقطة الطاقه	طاقة نقطة النهايه	٢٤	١٧

الخطأ	الصواب	السطر	الصفحه
النسهه	النسويه	٢٠	٣٣
تصلبيب	تطبيق	٢	٥٢
كجدا	جدا	١٤	٥٢
المنحاسبه	المناسبه	٢٠	٥٢
وفـــل	وفصل	٤	٥٥
فيلما	فيما	٤	٥٦
بنماز التكهير	بالتكهير الثازى	١٥	٥٦
نتيجه	تتجه	٢٠	٥٦
تنتستج	نستنتج	٢١	٥٦
موالد	ملواد	١٣	٥٨
علها	عملها	٤	٦٠
تنخقس	تنخفض	٩	٦١